

جدایش بی‌هنجاری‌های لیتیم با به کارگیری روش فرکتالی عیار – تعداد در سنگ‌های رسوبی برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ جام و سرخه، استان سمنان

لیلا جابرانصاری^۱، حبیب‌اله ترشیزیان^۲، نادر کهنسال قدیم‌وند^۳ و محسن پور کرمانی^۴

^۱دکتر، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۲استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد مقدس، مشهد، تهران
^۳استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
^۴استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

چکیده

در این پژوهش اکتشاف عنصر لیتیم در واحدهای رسوبی برگه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ جام و سرخه در غرب استان سمنان واقع در شمال شرق ایران انجام شده است. بخش شمالی هر دو برگه جزو پهنه ساختاری البرز مرکزی و بخش جنوبی برگه‌ها جزو پهنه ساختاری ایران مرکزی است که توسط گسل عطاری با راستای تقریبی شمال خاوری- جنوب باختری به دو بخش تقسیم شده‌اند. واحدهای رسوبی و تبخیری‌ها همراه با کانی‌های مختلف رسی در محدوده سنی کامبرین تا به امروز لیتولوژی غالب هر دو برگه را تشکیل می‌دهند. واحدهای رسوبی در این تحقیق هدف اصلی مطالعه بودند چرا که به دلیل ساختار بلوری کانی‌ها، خصوصیات کانی‌شناسی و پترولوژی، جاذب بعضی عناصر از جمله لیتیم و مکان مناسبی جهت تمرکز عنصر لیتیم هستند. در این تحقیق از روش اکتشاف ژئوشیمیایی فرکتالی عیار- تعداد جهت جداسازی بی‌هنجاری‌ها از زمینه استفاده گردید. همچنین در این تحقیق پس از مشخص شدن محدوده‌های اصلی دارای بی‌هنجاری لیتیم، شامل بخشی از بلوک شماره ۵ یا منطقه قراول کوه بیابانک (دیپایر سرخه)، نمونه‌های سنگی به منظور مطالعات کانی‌شناسی (XRD و FE SEM) از واحد زمین‌شناسی سازند قم به سن الیگوسن- میوسن با پترولوژی سنگ آهک‌های مارنی با میان‌لایه‌های ژپس که حاوی کانی‌های رسی (ایلیت و کلریت) می‌باشند برداشت شده است. در نتیجه منطقه مورد مطالعه به عنوان ناهنجاری اصلی در بین دو برگه معرفی شد تا در مراحل اکتشاف تفصیلی مورد آنالیز و بررسی‌های دقیق‌تر قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: لیتیم، اکتشاف ژئوشیمیایی، روش فرکتالی عیار- تعداد، رس، شمال شرق ایران.

***نویسنده مسئول:** حبیب‌اله ترشیزیان

E-mail: habib.torshizian@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

لیتیم (Li) در شبکه تعدادی از کانی‌های پگماتیتی یافت می‌شود؛ اما از آنجایی که به راحتی با آب واکنش می‌دهد هرگز در طبیعت به صورت آزاد یافت نمی‌شود؛ بلکه به صورت یون در آب اقیانوس‌ها و به صورت نمک در آب‌ها و کانی‌های رسی دیده می‌شود. در نتیجه لیتیم را می‌توان در اشکال مختلف از شوره‌ها به استحصال کرد یا اینکه در شبکه بلوری برخی کانی‌ها از جمله کانی‌های رسی (کلریت و ایلیت) با کلسیم، منیزیم و لیتیم جایگزین می‌شود (Grim, 1953).

کانسارهای رسوبی لیتیم‌دار ۸ درصد منابع لیتیمی را دربردارند و در قالب نهشته‌های رسی و تبخیری‌های دریاچه‌ای جای می‌گیرند. برآورد میانگین فراوانی لیتیم در پوسته زمین متفاوت است؛ اما این احتمال وجود دارد که در حدود ۱۷ تا ۲۰ پی‌پی‌ام باشد. در سنگ‌های رسوبی مقدار آن به بیش از ۵۳ تا ۶۰ پی‌پی‌ام هم می‌رسد (Kunasz, 2006; Evans, 2014). بدین ترتیب در اکتشاف عنصر لیتیم اهمیت مطالعه واحدهای رسوبی به خوبی مشهود است.

ویژگی‌های مهمی که موجب شکل‌گیری نهشته‌های لیتیم می‌شوند و از عوامل مهم کنترل کانی‌زایی عنصر لیتیم می‌باشند شامل آب‌وهوای خشک منطقه، حوضه‌های بسته، واحدهای سنگی متنوع، سنگ منشأ مناسب از جمله سنگ‌های آذرین اسیدی، توف‌های فلسیک و هیپوکلنیک‌ها، آبخوان مناسب و گستردگی شبکه آبراهه‌ها موجب شده دو برگه جام و سرخه جهت اکتشاف عنصر لیتیم دارای پتانسیل باشند.

به طور کلی داده‌های ژئوشیمیایی رفتار مولتی فرکتالی دارند. و بیانگر روابط زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، آلتراسیون، کانی‌سازی و به دنبال آن مراحل غنی‌شدگی یک عنصر هستند (Cheng et al., 1994; Gonçalves et al., 2001; Lima et al., 2003; Afzal et al., 2010; Zuo, 2011). پردازش داده‌های این پژوهش به روش اکتشاف ژئوشیمیایی فرکتال عیار- تعداد

به موجب شکل‌گیری نهشته‌های لیتیم می‌شوند و از عوامل مهم کنترل کانی‌زایی عنصر لیتیم می‌باشند شامل آب‌وهوای خشک منطقه، حوضه‌های بسته، واحدهای سنگی متنوع، سنگ منشأ مناسب از جمله سنگ‌های آذرین اسیدی، توف‌های فلسیک و هیپوکلنیک‌ها، آبخوان مناسب و گستردگی شبکه آبراهه‌ها موجب شده دو برگه جام و سرخه جهت اکتشاف عنصر لیتیم دارای پتانسیل باشند.

به طور کلی داده‌های ژئوشیمیایی رفتار مولتی فرکتالی دارند. و بیانگر روابط زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، آلتراسیون، کانی‌سازی و به دنبال آن مراحل غنی‌شدگی یک عنصر هستند (Cheng et al., 1994; Gonçalves et al., 2001; Lima et al., 2003; Afzal et al., 2010; Zuo, 2011). پردازش داده‌های این پژوهش به روش اکتشاف ژئوشیمیایی فرکتال عیار- تعداد

۲- مواد و روش‌ها

مدل فرکتالی عیار- تعداد توسط Hassanpour and Afzal (2013) بر اساس مدل تعداد - اندازه (N-S) Mandelbrot (1983) ارائه شده است. این مدل نشان می‌دهد که یک رابطه بین عیار عناصر و تعداد تجمعی نمونه‌های آنها بر حسب عیار در

مرکزی و دارای سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و رسوبات خشکی نوژن بوده و این پهنه با راندگی‌های ملایم به سوی جنوب مشخص است (آقاباتی، ۱۳۸۸).

۳-۱. ناحیه جام

از دیدگاه دیرینه جغرافیا ناحیه جام توسط گسل عطاری با روند NE - SW دو زون البرز و ایران مرکزی تقسیم می‌شود (شکل ۱؛ Alavi-Naini, 1972). به‌طور کلی کهن‌ترین نهشته‌ها وابسته به سن کامبرین هستند (قمیشی و همکاران، ۱۳۷۵). مهم‌ترین سازندهای منطقه جام شامل سلطانیه، مبارک، شمشک، کرج، قرمز پایی، قم و قرمز بالایی می‌باشد. این سری چینه‌ای شامل واحدهای به ضخامت حدود ۱۲۰۰۰ متر از سن کامبرین پیشین تا کواترنری است. اثر تکتونیک صفحه‌ای و حوضه‌های رسوبی محدود به پهنه‌های گسلی سبب شده تا تفاوت‌هایی در لیتولوژی و ضخامت واحدهای سنگ‌چینه‌ای همسن و همزمان ایجاد شود (فتوتی و همکاران، ۱۳۸۷). سنگ‌های آذرین (بیشتر سنگ‌های آتشفشانی و هیپوولکانیک) بخش‌های بزرگی از برگه جام را پر کرده‌اند.

واحدهای رسوبی برگه جام فراوان و در کل منطقه پراکنده هستند و محدوده سنی کامبرین تا به امروز را تشکیل می‌دهند که شامل شیل و سنگ‌آهک سازند باروت تا مارن و سیلت به سن کواترنری است (شکل ۲؛ قمیشی و همکاران، ۱۳۷۵). از مهم‌ترین واحدهای رسوبی منطقه شیل‌های سازند شمشک، شیل‌های سازند کرج و مارن‌های سازندهای قرمز پایی، قم و قرمز بالایی می‌باشند. چرا که احتمال تجمع عنصر لیتیم در کانی رسی ایلیت در این واحدها بیشتر است (عابدینی، ۱۳۹۵; Norouzi and Abedini, 2017). از مهم‌ترین گسل‌های منطقه جام می‌توان گسل عطاری، پیغمبران و نمرود با روند NE - SW نام برد (Alavi-Naini, 1972).

منطقه جام از نظر کانی‌زایی در بین کمر بند کانی‌زایی آهن استان سمنان قرار گرفته است (معادن آهن شیخاب، همیرد) که از شمال سمنان شروع می‌شود و تا جنوب شرق شاهرود ادامه دارد (حاجی‌بهرامی و همکاران، ۱۳۹۴). از دیگر معادن مهم منطقه، لایه‌های زغال‌سنگ موجود در بین لایه‌های شیل و ماسه‌سنگ سازند شمشک با ذخایر محدود در پیرامون روستاهای جام، بارون‌آباد و ترخستان هستند (قمیشی و همکاران، ۱۳۷۵).

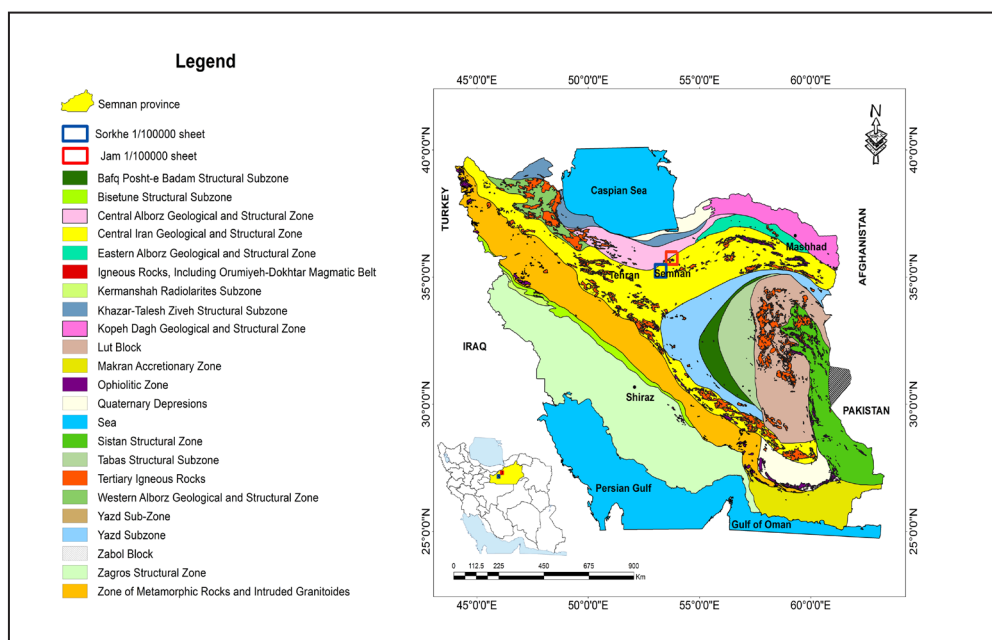
ناحیه مورد مطالعه وجود دارد (رابطه ۱؛ Afzal et al., 2019; Li et al., 1994):

$$N(\geq \rho) = F \rho^{-D} \quad (1)$$

در این رابطه ρ عیار عناصر، $N(\geq \rho)$ تعداد تجمعی نمونه‌ها با عیار بزرگ‌تر یا مساوی ρ ، F یک ثابت و D بعد فرکتالی است. بر اساس (Mandelbrot 1983) و (Deng et al. 2010) نمودار تمام لگاریتمی $N(\geq \rho)$ در برابر ρ ، قطعه‌های خطوط مستقیم با شیب‌های مختلف (D -) متناظر با بازه‌های مختلف عیار را نشان می‌دهند (Sadeghi et al., 2012). یک سری داده ژئوشیمیایی از دو گروه داده فرکتالی متصل به هم شامل گروه معرف زمینه و گروه معرف بی‌هنجاری تشکیل شده است. به منظور جدایش جوامع بی‌هنجاری یا جوامع آماری سعی می‌شود غلظت‌هایی بحرانی که در محدوده آنها بعد فرکتالی تغییر می‌کند به عنوان حدود آستانه‌ای معرفی شوند. از آنجا که مدل‌های فرکتالی نوعی روابط نمایی بین این پارامترها برقرار می‌کنند، نمودار آنها در دستگاه مختصات تمام لگاریتمی به صورت خط راست در می‌آید. در این صورت نمودار عیار- تعداد مورد استفاده در این پژوهش، برای داده‌های اکتشافی به صورت دو یا چند خط رسم می‌شود، مرز بین دو خط، عیاری معرف حد آستانه‌ای است. در واقع این دو خط نماینده جوامع زمینه و جوامع آماری هستند که دو شیب مختلف دارند و نشان‌دهنده بعد متفاوت این دو جامعه خواهند بود (Afzal et al., 2015). در این مقاله تمامی مراحل پردازش داده‌های ژئوشیمیایی جهت جدایش جوامع آماری و رسم نمودار تمام لگاریتمی فرکتالی عیار- تعداد عنصر لیتیم با نرم‌افزار Excel Microsoft Office انجام شد. جوامع آماری به شکل نقشه‌های کنتوری با استفاده از روش IDW (Inverse Distance Weighted) درون‌یابی شده‌اند. در این روش منطقه به سلول‌های $350 \text{ m} \times 350 \text{ m}$ در نرم‌افزار RockWorks 15 تقسیم و ترسیم شد (Saadati et al., 2020).

۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

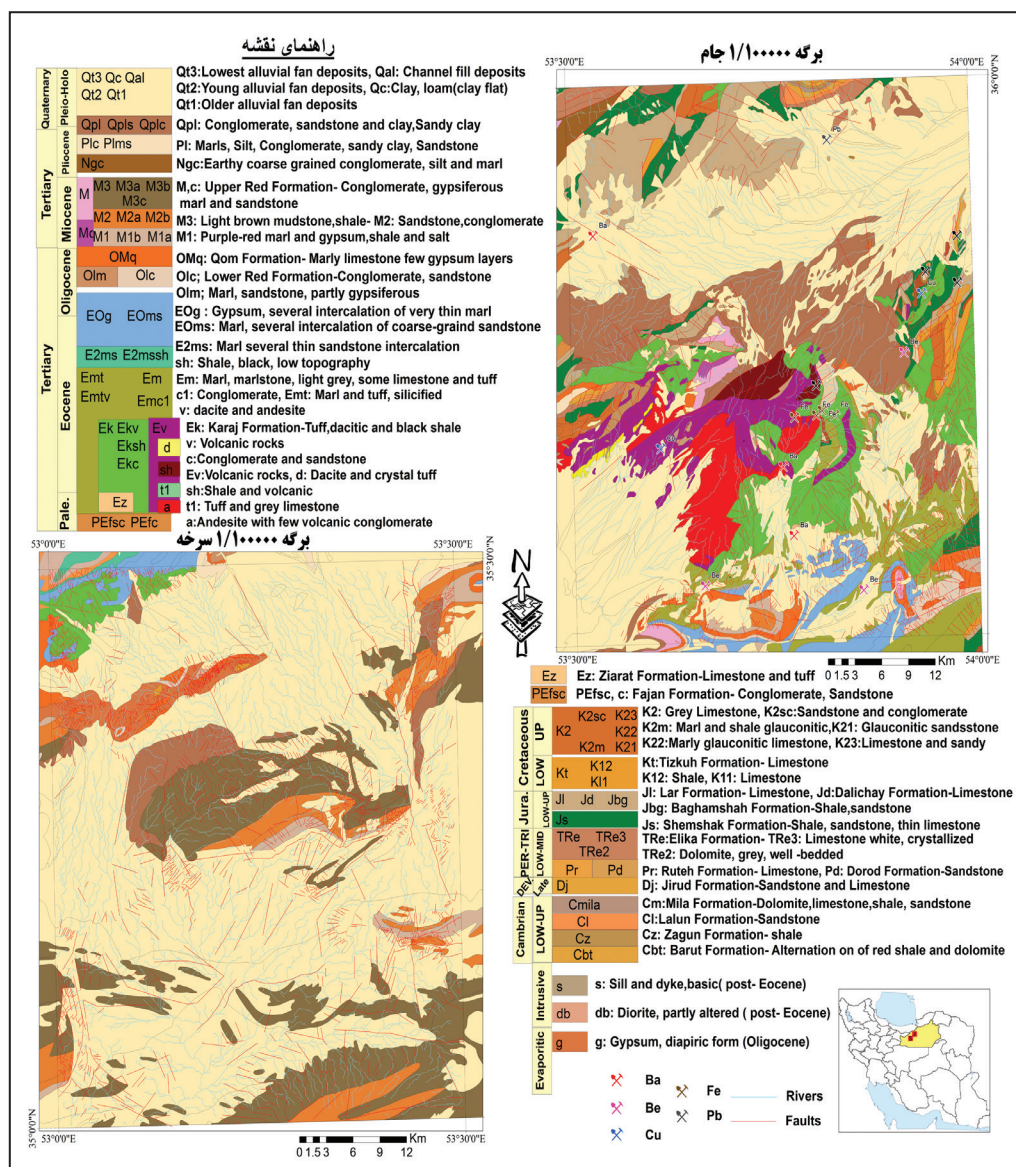
مناطق مورد مطالعه شامل دو برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام و سرخه در غرب استان سمنان (NE ایران) واقع شده‌اند (شکل ۱). برگه زمین‌شناسی جام یکی از شش برگه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان بوده و نقشه زمین‌شناسی سرخه ترسیم نشده است. در نتیجه از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان استفاده شد. طبق تقسیمات (Stocklin 1974) بخش شمالی برگه سرخه و جام جزو پهنه ترشیری جنوبی البرز



شکل ۱- نقشه موقعیت برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ جام و سرخه در نقشه ساختاری ایران (آقاباتی، ۱۳۸۸).

از نظر کانی‌زایی بیشتر معادن برگه سرخه با توجه به ترکیب سنگی چیره منطقه بیشتر شامل منابع متمرکز در سنگ‌های رسوبی یا تپخیری می‌باشند. از معادن معروف برگه سرخه می‌توان معدن آلونیت، ژپس دلازیان، معدن گوگرد خوریان ۱ و ۲، معدن سنگ‌آهک بیابانک سرخه، معدن نمک، گچ بیابانک، بزرگ‌ترین معدن سلسنتین ایران با ذخیره بالای ۹۵ درصد و سنگ فلوریت، آمیتیس و گچ کریستال (شرکت سنگ معدنی اروانه) و معدن سولفات دوسود بیابانک می‌باشند. در حاشیه باختری این معدن چشمه شورابه‌ای با دبی کم وجود دارد که نمونه آن دارای ۲۱ پی‌پی‌ام پتاس بوده و از نقاط قابل توجه در این مطالعه است (فتوتی و همکاران، ۱۳۸۷).

واحدهای چینه‌ای برگه سرخه شامل نهشته‌هایی از پالئوژن (ائوسن) تا کواترنری است. برگه سرخه بخشی از یک حوضه فروافتاده جوان بوده که با توالی به نسبت سستری از مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرای دارای گچ و یا نمک فراوان پوشیده شده است. رنگ متمایل به سرخ و مورفولوژی کاملاً فرسوده و دشت‌گونه از ویژگی‌های این فرونشست جوان است. رسوب‌های قاره‌ای و سرخ رنگ مورد نظر در حوضچه‌های میان‌کوهی کم‌ژرفا و در شرایط آب‌وهوای گرم و تبخیری بر جای گذاشته شده‌اند؛ به همین دلیل گچ و به ویژه سنگ نمک فراوانی دارند که به‌طور عموم به‌صورت گنبد‌های نمکی و گاهی گچی نمایان هستند. پوسته‌های نمکی به ویژه شورابه‌های جاری در این بخش استان سمنان، انباشته‌ها و یا محلول‌های دارای املاح معدنی سولفات و کلرور سدیم و پتاسیم و ... دارند که گاه دارای ارزش اقتصادی در خور توجهی هستند (شکل ۲؛ آفانباتی و همکاران، ۱۳۸۰؛ فتوتی و همکاران، ۱۳۸۷). سنگ‌های آذرین برگه سرخه شامل توف‌های داسیتی و سنگ‌های آتشفشانی واحدهای تشکیلات کرج می‌باشد که در شمال‌خاور برگه سرخه رخنمون دارند (Hadadan, 1994). از طرفی با بررسی‌های صحرایی و برداشت نمونه در شمال باختر برگه سرخه واحدهای میکروگابرو و بازالت‌های



شکل ۲- نقشه زمینی شناسی ساده شده برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ حام و سرخه برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان (Hadadan, 1994).

۴- داده‌های ژئوشیمیایی

۴-۱. نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای

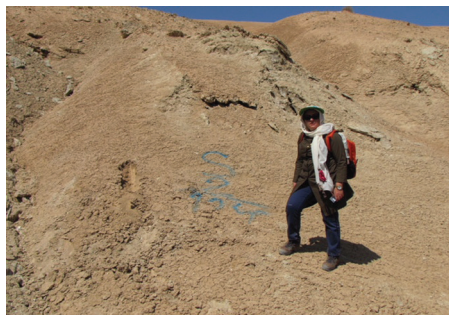
و به روش Flame photometer با حد حساسیت ۵ پی‌پی‌ام، با هدف عنصر Li در سازمان زمین‌شناسی مرکز مشهد مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت (شکل‌های ۳ و ۴).

۴-۳. حذف مقادیر خارج از رده

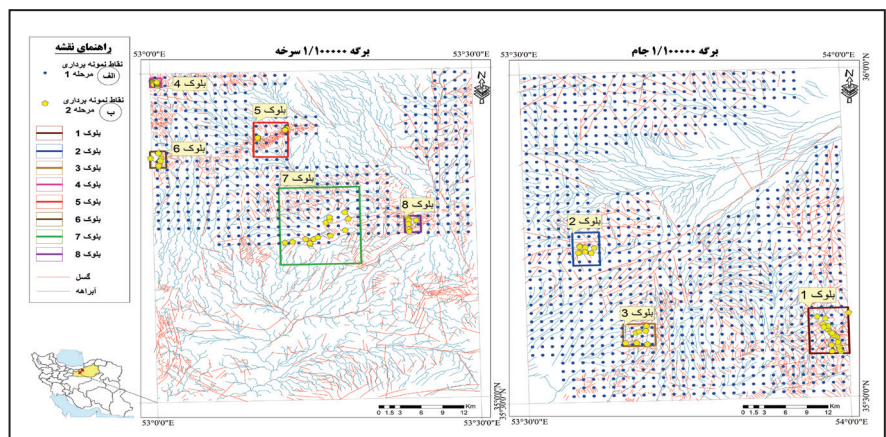
جهت به دست آوردن مقادیر خارج از رده و تحلیل داده‌های نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای و لیتوژئوشیمیایی هر دو برگه، نمودارهای ستونی تجمعی عنصر لیتیم ترسیم و سپس با استفاده از این نمودار ستونی عیارهای خارج از رده شناسایی شد. با توجه به جایز نبودن حذف این مقادیر، به خصوص در مورد مقادیر با عیار بالا (به دلیل از بین رفتن مناطق آنومال)، مقادیر خارج از رده با مقدار مناسب از روش دورفل (Doerffel method) مستخرج و با توجه به تعداد نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۹٪ جایگزین شدند. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها نمودار ستونی مربوط به داده‌ها رسم شد (شکل‌های ۵ و ۶؛ Barak et al., 2017؛ Hawkes and Webb, 1962; Farahmandfar et al., 2020).

۴-۲. نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی

در دومین مرحله، شبکه نمونه‌برداری بر روی مناطق آنومالی حاصل از پردازش نتایج آنالیز نمونه‌های مرحله نخستین ترسیم گردید که شامل ۸ بلوک مطالعاتی (۳ بلوک برگه جام و ۵ بلوک برگه سرخه) می‌باشند. ۴۲ نمونه لیتوژئوشیمیایی از برگه جام و ۶۰ نمونه از برگه سرخه به روش لپری-شیاری (Chip channel) به وزن ۳ کیلوگرم و به فاصله ۵۰۰ متر از هم برداشت شد

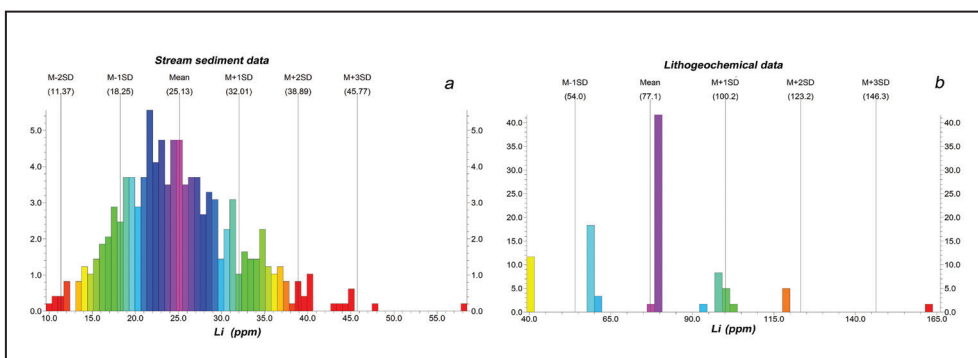
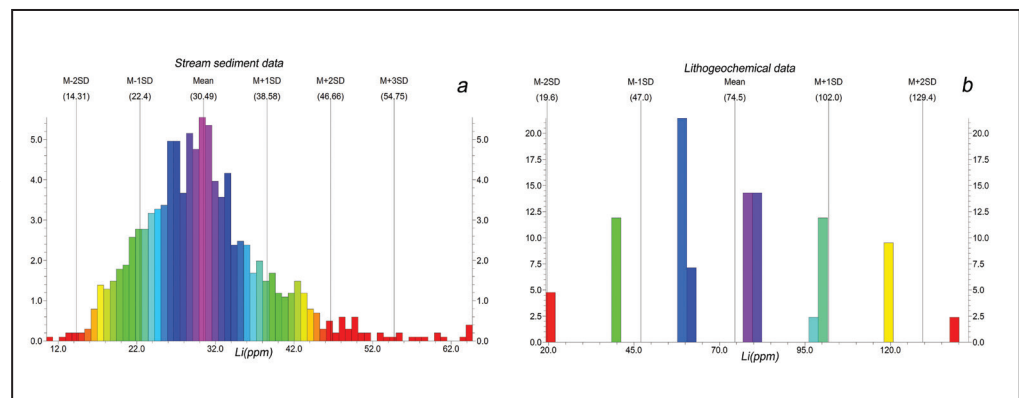


شکل ۴- برداشت نمونه لیتوژئوشیمیایی از برگه سرخه به روش لپری-شیاری.



شکل ۳- نقشه شبکه نمونه‌برداری برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ جام و سرخه. الف) نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای (ب) نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی.

شکل ۵- نمودار تجمعی عنصر لیتیم برای: (a) داده‌های نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای؛ (b) داده‌های نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی برگه جام.



شکل ۶- نمودار تجمعی عنصر لیتیم برای: (a) داده‌های نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای؛ (b) داده‌های نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی برگه سرخه.

منطقه جام هستند. پارامترهای آماری برگه سرخه شامل میانگین آنالیز عنصر لیتیم در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای ۲۵/۱۳ پی‌پی‌ام و نمونه‌های سنگ رسوبی ۷۷/۱ پی‌پی‌ام و همچنین ماکزیمم مقادیر به ترتیب ۵۸/۱۰۹ و ۱۶۲/۳۴ پی‌پی‌ام محاسبه شده‌اند (جدول ۲).

این مقادیر به دست آمده از آنالیز ژئوشیمی خود بیانگر وجود تمرکز عنصر لیتیم در منطقه سرخه است، چرا که بیشتر از میانگین فراوانی لیتیم در سنگ‌های رسوبی مقدار آن به بیش از ۵۳ تا ۶۰ پی‌پی‌ام هم می‌رسد (Kunasz, 2006; Evans, 2014). رسم هیستوگرام‌ها و محاسبه پارامترهای آماری عنصر لیتیم با نرم‌افزار 15 Rock Works انجام شد (Soltani et al., 2019).

در ادامه مقادیری که از روش دورفل محاسبه گردید؛ جایگزین شدند، و محاسبات آماری داده‌های جایگزین شده انجام شد (جدول ۱ و ۲). همچنین نمودار ستونی تجمعی عنصر لیتیم در برگه جام بعد از جایگزینی مقادیر خارج از رده ترسیم گردید. در برگه سرخه مقادیر خارج رده وجود نداشت. در ادامه محاسبات آماری داده‌های جایگزین شده انجام شد.

۴-۴. محاسبه پارامترهای آماری

پارامترهای آماری برگه جام شامل میانگین آنالیز عنصر لیتیم در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای ۳۰/۵۴ پی‌پی‌ام و در نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی ۷۴/۵۰ پی‌پی‌ام و همچنین ماکزیمم مقادیر به ترتیب ۸۵/۷۳ و ۱۳۸/۲۶ پی‌پی‌ام محاسبه شده‌اند (جدول ۱). این مقادیر به دست آمده از آنالیز ژئوشیمی خود بیانگر وجود تمرکز عنصر لیتیم در

جدول ۱- پارامترهای آماری محاسبه شده عنصر لیتیم برای داده‌های رسوبات آبراهه‌ای و داده‌های لیتوژئوشیمیایی برگه جام.

داده‌های رسوبات آبراهه‌ای		داده‌های لیتوژئوشیمیایی	
معیارهای اندازه‌گیری	Li (پی‌پی‌ام)	معیارهای اندازه‌گیری	Li (پی‌پی‌ام)
میانگین	30.54	میانگین	74.50
انحراف معیار	8.34	انحراف معیار	27.47
واریانس	69.48	واریانس	754.71
کمینه	10.71	کمینه	19.63
بیشینه	85.73	بیشینه	138.26
چولگی	1.26	چولگی	0.179
کشیدگی	4.27	کشیدگی	-0.42

جدول ۲- پارامترهای آماری محاسبه شده عنصر لیتیم برای داده‌های رسوبات آبراهه‌ای و داده‌های لیتوژئوشیمیایی، برگه سرخه.

داده‌های رسوبات آبراهه‌ای		داده‌های لیتوژئوشیمیایی	
معیارهای اندازه‌گیری	Li (پی‌پی‌ام)	معیارهای اندازه‌گیری	Li (پی‌پی‌ام)
میانگین	25.13	میانگین	77.1
انحراف معیار	6.87	انحراف معیار	23.06
واریانس	47.33	واریانس	531.84
کمینه	9.95	کمینه	39.57
بیشینه	58.109	بیشینه	162.34
چولگی	0.66	چولگی	0.70
کشیدگی	0.90	کشیدگی	1.69

۴-۵. استفاده از روش مدل فرکانالی عیار-تعداد (C-N)

برای تعیین حدود آستانه‌ای و جداسازی آنومالی‌های ژئوشیمیایی از زمینه، بعد از مرتب‌سازی داده‌های لیتیم حاصل از آنالیز نمونه از زیاد به کم، پردازش به روش عیار-تعداد جهت تعیین فراوانی محاسبه و نمودار تمام لگاریتمی فراوانی تجمعی تعداد در مقابل عیار Li ترسیم شد (شکل‌های ۷ و ۸). با پردازش خط‌های مستقیم به سری نقاط با به دست آوردن نقاط شکست این خطوط، جوامع آماری برای لیتیم تعیین گردید (جدول ۳؛ Abdoli Serehsghi et al., 2019).

جوامع آماری محاسبه شده به روش مدل فرکانالی عیار-تعداد (C-N) عنصر لیتیم در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای برگه جام شامل شش جامعه آماری بدین ترتیب است (جدول ۳): اولین جامعه آماری شامل مقادیر کمتر از ۲۰ پی‌پی‌ام بوده که این مقادیر در حد زمینه برای عنصر لیتیم (Li) است. دومین، سومین و

چهارمین جامعه شامل مقادیر ۲۰ تا ۵۱ پی‌پی‌ام و شامل آنومالی ضعیف تا متوسط لیتیم هستند. پنجمین و ششمین جامعه آماری با مقادیر ۵۱ تا ۶۳/۹ پی‌پی‌ام و مقادیر بیش از آن آنومالی شدید تا خیلی شدید لیتیم می‌باشند که منطقه‌ای در جنوب شرق محدوده مطالعاتی است و در نقشه به رنگ قرمز از بقیه محدوده‌های آنومالی متمایز می‌شود (شکل ۹).

همچنین جوامع آماری محاسبه شده به روش مدل فرکانالی عیار-تعداد (C-N) عنصر لیتیم در نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای برگه سرخه شامل ۸ جامعه آماری بدین ترتیب است (جدول ۳): اولین جامعه آماری شامل مقادیر کمتر از ۱۹ پی‌پی‌ام بوده که این مقادیر در حد زمینه برای عنصر لیتیم (Li) است. دومین، سومین و چهارمین جامعه آماری شامل مقادیر ۲۵ تا ۳۹ پی‌پی‌ام آنومالی ضعیف

لیتوزوشیمیایی می‌باشند که این نقاط آنومالی در جنوب شرق برگه جام به رنگ قرمز متمرکز هستند (شکل ۱۰). علاوه بر آن جوامع آماری محاسبه شده به روش مدل فرکتالی عیار- تعداد (C-N) عنصر لیتیم در نمونه‌های لیتوزوشیمیایی برگه سرخه به هفت جامعه آماری بدین ترتیب جدا می‌شوند (جدول ۳)؛ اولین جامعه آماری شامل مقادیر کمتر از ۳۹/۵۷ پی‌پی‌ام بوده که این مقادیر در حد زمینه برای عنصر لیتیم (Li) است.

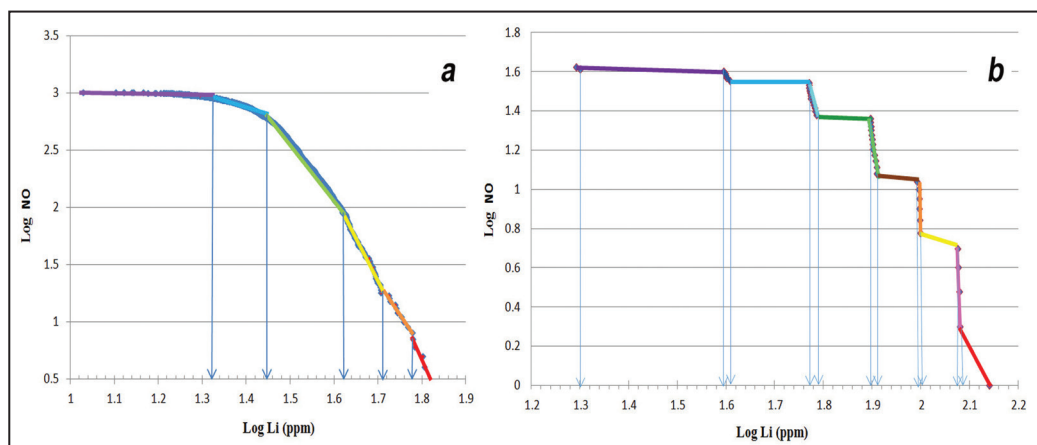
دومین، سومین و چهارمین جامعه آماری شامل مقادیر ۴۰ تا ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنومالی لیتیم ضعیف تا متوسط هستند. پنجمین، ششمین و هفتمین جامعه آماری شامل مقادیر ۱۰۰ تا ۱۶۲/۳۴ پی‌پی‌ام و مقادیر بیش از آن آنومالی شدید تا خیلی شدید لیتیم در نمونه‌های لیتوزوشیمیایی می‌باشند که این نقاط آنومالی در غرب برگه سرخه به رنگ قرمز متمرکز هستند (شکل ۱۰).

تا متوسط هستند. پنجمین، ششمین و هفتمین جامعه آماری با مقادیر ۳۹ تا ۵۷/۸ پی‌پی‌ام و مقادیر بیش از آن آنومالی شدید تا خیلی شدید لیتیم هستند که منطقه‌ای در غرب و مرکز محدوده مطالعاتی است و در نقشه به رنگ قرمز از بقیه محدوده‌های آنومالی متمایز می‌شود (شکل ۹).

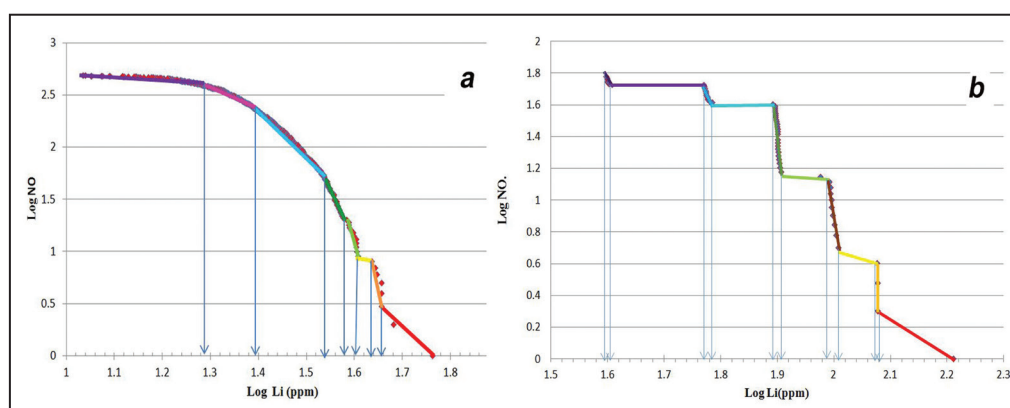
همچنین جوامع آماری محاسبه شده به روش مدل فرکتالی عیار- تعداد (C-N) عنصر لیتیم در نمونه‌های لیتوزوشیمیایی برگه جام به هفت جامعه آماری بدین ترتیب جدا می‌شوند (جدول ۳)؛ اولین جامعه آماری شامل مقادیر کمتر از ۱۹/۶ پی‌پی‌ام بوده که این مقادیر در حد زمینه برای عنصر لیتیم (Li) است. دومین، سومین و چهارمین جامعه آماری شامل مقادیر ۴۰ تا ۱۰۰ پی‌پی‌ام آنومالی ضعیف تا متوسط هستند. پنجمین، ششمین و هفتمین جامعه آماری با مقادیر ۱۰۰ تا ۱۳۸/۲۶ پی‌پی‌ام و مقادیر بیش از آن آنومالی شدید تا خیلی شدید لیتیم در نمونه‌های

جدول ۳- جوامع آماری محاسبه شده بر اساس روش فرکتالی عیار- تعداد Li برای نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای و لیتوزوشیمیایی برگه‌های جام و سرخه.

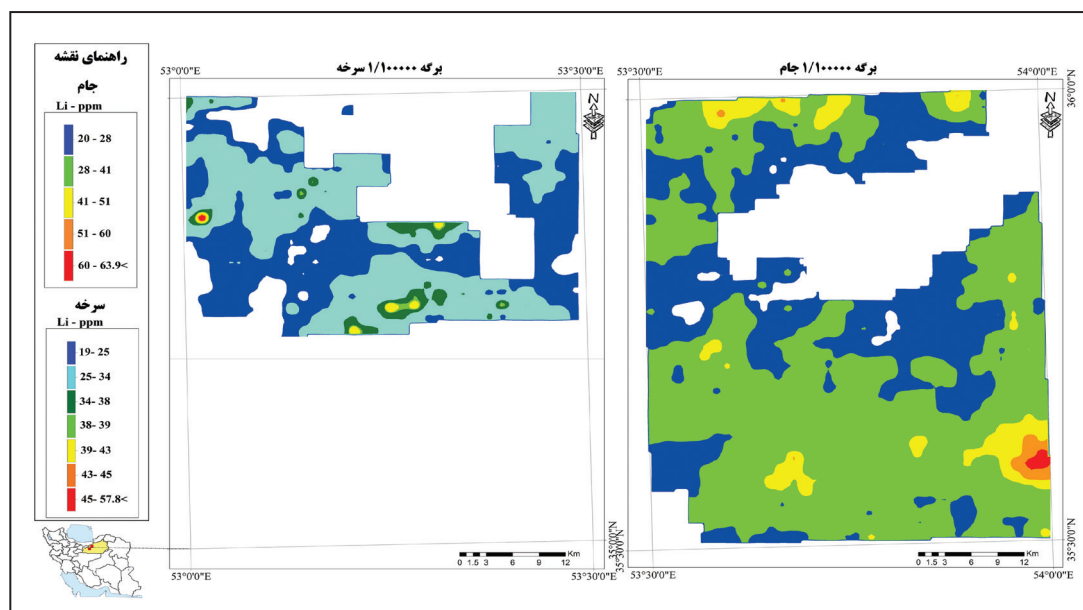
نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای									
خیلی شدید	خیلی شدید	شدید	شدید	متوسط	متوسط	ضعیف	حد آستانه ضعیف	شدت آنومالی	
جامعه آماری هشتم	جامعه آماری هفتم	جامعه آماری ششم	جامعه آماری پنجم	جامعه آماری چهارم	جامعه آماری سوم	جامعه آماری دوم	جامعه آماری اول	عنصر	برگه
-	-	63.9	60	51	41	28	20	Li (پی‌پی‌ام)	جام
57.8	45	43	39	38	34	25	19	Li (پی‌پی‌ام)	سرخه
نمونه‌های لیتوزوشیمیایی									
-	138.26	120.2	100	79.4	63	40	19.6	Li (پی‌پی‌ام)	جام
-	162.34	120.2	100	79.4	60	40	39.57	Li (پی‌پی‌ام)	سرخه



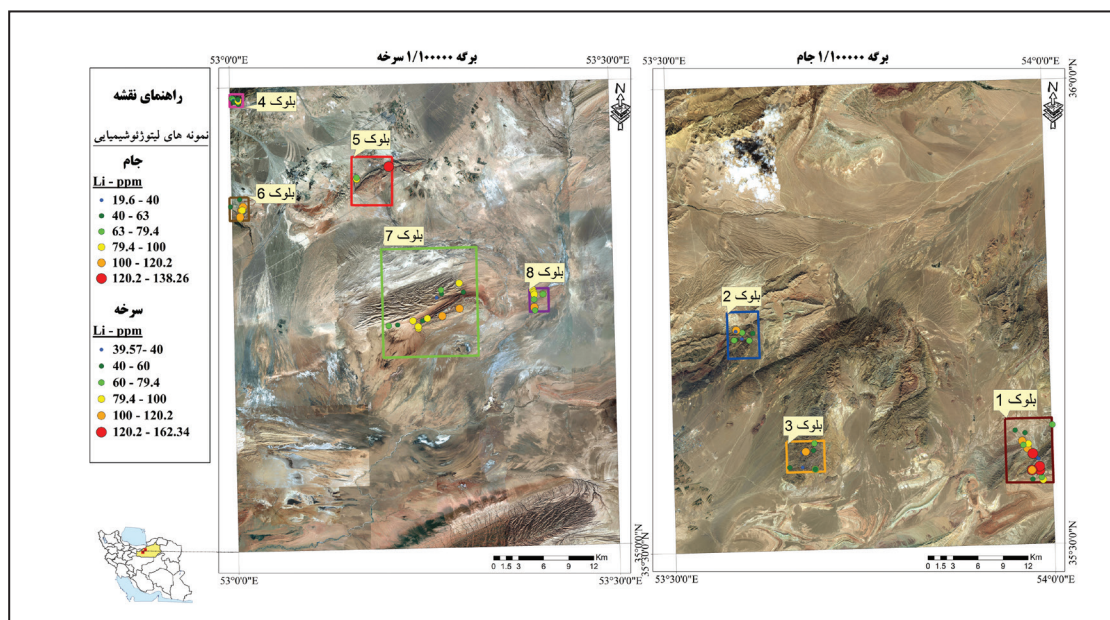
شکل ۷- نمودار تمام لگاریتمی فراوانی تجمعی تعداد در مقابل عیار Li نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای و لیتوزوشیمیایی برگه جام.



شکل ۸- نمودار تمام لگاریتمی فراوانی تجمعی تعداد در مقابل عیار Li نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای و لیتوزوشیمیایی برگه سرخه.



شکل ۹- نقشه توزیع ژئوشیمیایی عنصر لیتیم در رسوبات آبراهه‌ای به روش فرکتال در برگه‌های جام و سرخه.



شکل ۱۰- نقشه توزیع لیتوژئوشیمیایی عنصر لیتیم در نمونه‌های سنگی به روش فرکتال در برگه‌های جام و سرخه.

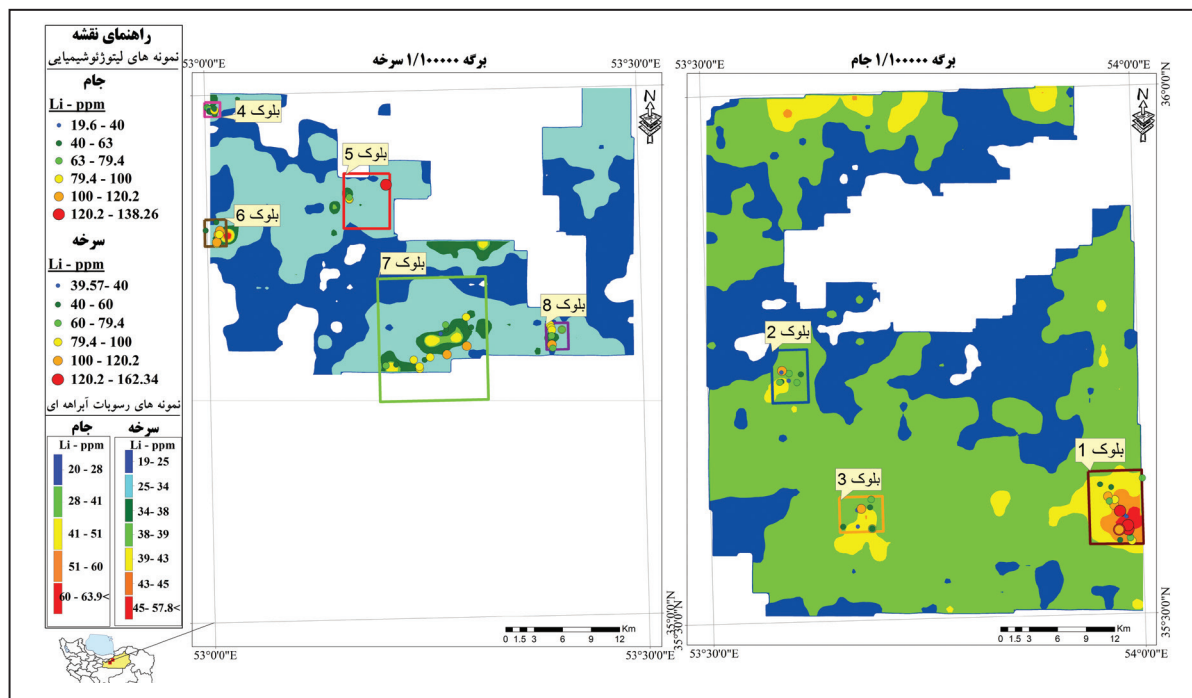
۴-۶. بررسی همپوشانی نقشه نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای با نمونه‌های

لیتوژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی منطقه

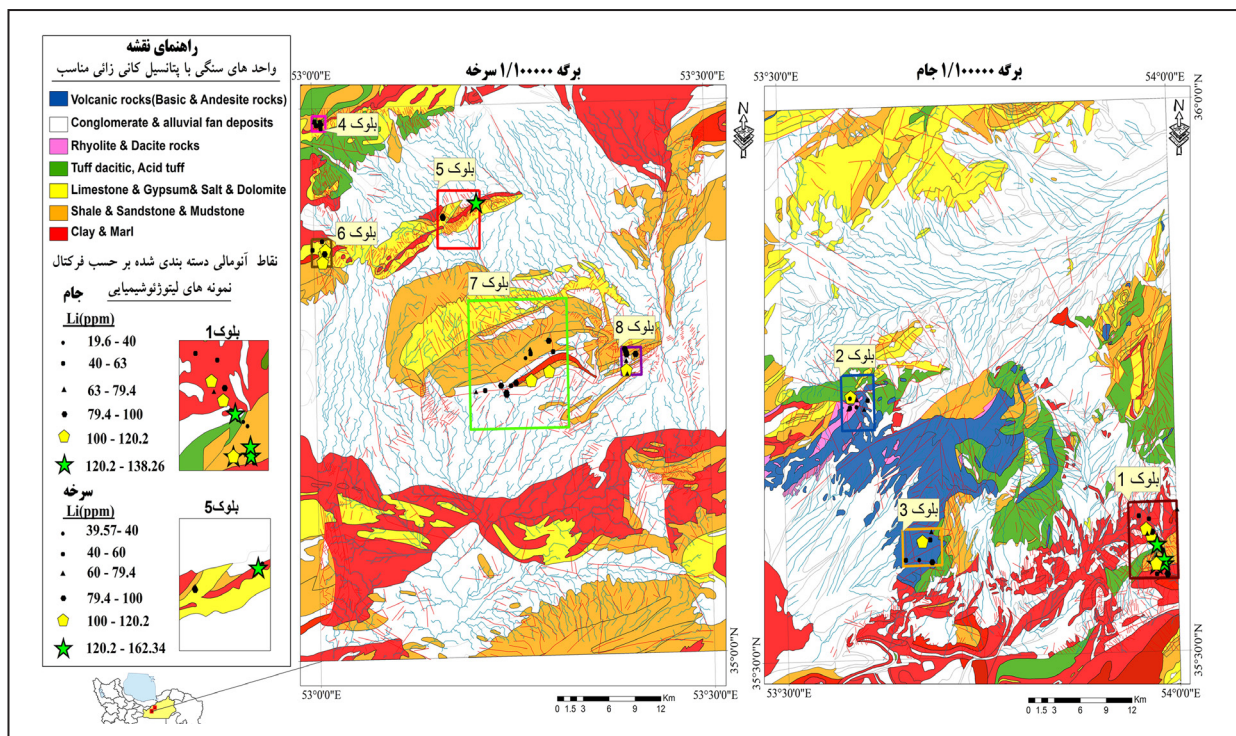
مرحله چک آنومالی و بررسی صحت آنومالی‌های به دست آمده با گرفتن نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی از لیتولوژی‌های مناسب واقع شده در آنومالی‌های نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای انجام شد. عمل اورلپ کردن نقشه‌های هر دو مرحله نشان می‌دهد که محدوده بلوک ۱ در برگه جام دارای نمونه‌های با بالاترین مقدار آنالیز لیتیم (بی‌پی‌ام ۱۳۸/۲۶) در واحدهای سنگی سازند شمشک به سن ژوراسیک با ترکیب سنگ‌شناسی شیل با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ و لایه‌های نازک سنگ آهک برداشت شده و در نقشه، مناطق آنومالی خیلی شدید به رنگ قرمز است (شکل ۱۱). همچنین محدوده بلوک ۵ در برگه سرخه بالاترین مقدار آنالیز لیتیم (بی‌پی‌ام ۱۶۲/۳۴) را در واحدهای سنگی سازند قم به سن الیگوس-میوسن با ترکیب سنگ‌شناسی مارن، رس با میان‌لایه‌های سنگ آهک و ژپس دارد (شکل ۱۱). با بررسی هر دو منطقه، بلوک ۵ جهت ادامه مطالعات مناسب‌تر شناخته شد. چرا که طبق مطالعات قبلی در ایران (Saadati et al., 2020) سعادت و ترشیزیان، ۱۳۹۲؛ عزمی، ۱۳۹۱)، و نیز با توجه به بالاتر بودن مقدار

آنالیز لیتیم به دست آمده (بی‌پی‌ام ۱۶۲/۳۴-۱۲۰/۲-۱۲۰/۲)، مناسب‌تر بودن ترکیب سنگ‌شناسی شامل مارن و رس، ساختار منطقه، وجود کانی‌های رسی که توانایی میزبانی عنصر لیتیم را دارند (Carew et al., 2016; Don, 2016; Marvin, 2018; Fyzollahi et al., 2018) و همچنین بررسی‌های صحرائی، این بلوک جهت مطالعه اکتشافی انتخاب شد (شکل ۱۲؛ Jebeli et al., 2018).

واحدهای رسوبی در این تحقیق هدف اصلی مطالعه بودند چرا که به دلیل ساختار بلوری کانی‌ها، خصوصیات کانی‌شناسی و پترولوژی، جاذب بعضی عناصر از جمله لیتیم و مکان مناسبی جهت تمرکز عنصر لیتیم هستند. سنگ‌های رسوبی گسترده‌ی زیادی در منطقه مورد مطالعه دارند و به دلیل خصوصیت انحلال بالای لیتیم با آب و فراوانی و گسترده‌ی شبکه آبراهه‌های منطقه امکان مهاجرت عنصر لیتیم از سنگ‌های اسیدی و تمرکز در واحدهای رسوبی جوان‌تر همانند رس‌ها، مارن‌ها و شیل‌ها در منطقه مورد مطالعه فراهم است که این مسئله خود اهمیت مطالعه واحدهای رسوبی را به خوبی نمایان می‌کند (Howard, 1981; Hadadan, 1994; Kesler et al., 2010).



شکل ۱۱- نقشه همپوشانی (Overlap) توزیع لیتوژوشیمیایی و ژئوشیمیایی عنصر لیتیم به روش فرکتال در برگه‌های جام و سرخه.



شکل ۱۲- همپوشانی (Overlap) نقشه زمین‌شناسی دسته بندی شده و نقاط آنومالی عنصر لیتیم به روش فرکتال در برگه‌های جام و سرخه.

تبخیری برگه‌های جام و سرخه به خوبی مشخص می‌شود. با بررسی داده‌های تجزیه ژئوشیمیایی نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای در مرحله نخستین می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های مناطق بی‌هنجاری لیتیم بالاترین مقدار عناصر پتاسیم، سدیم، کلسیم، بر، سزیم، روییدیم و منیزیم را دارند. این عناصر هم‌پارازتر با لیتیم هستند و به نوعی ردیاب به شمار می‌آیند. این امر خود تأییدی بر اهمیت

با توجه به نتایج تجزیه ژئوشیمیایی نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای (شکل ۹) می‌توان دریافت که عنصر لیتیم از سنگ مادر اسیدی ریولیت و یا توف‌های فلسیک قدیمی (در برگه جام، توف‌های داسیتی و اسیدی) منشأ گرفته و طی فرایندهای مختلف در واحدهای رسوبی جوان‌تر به ویژه لایه‌های ماری، رسی، شیلی و تبخیری منطقه جای گرفته است که لزوم مطالعه واحدهای رسوبی و

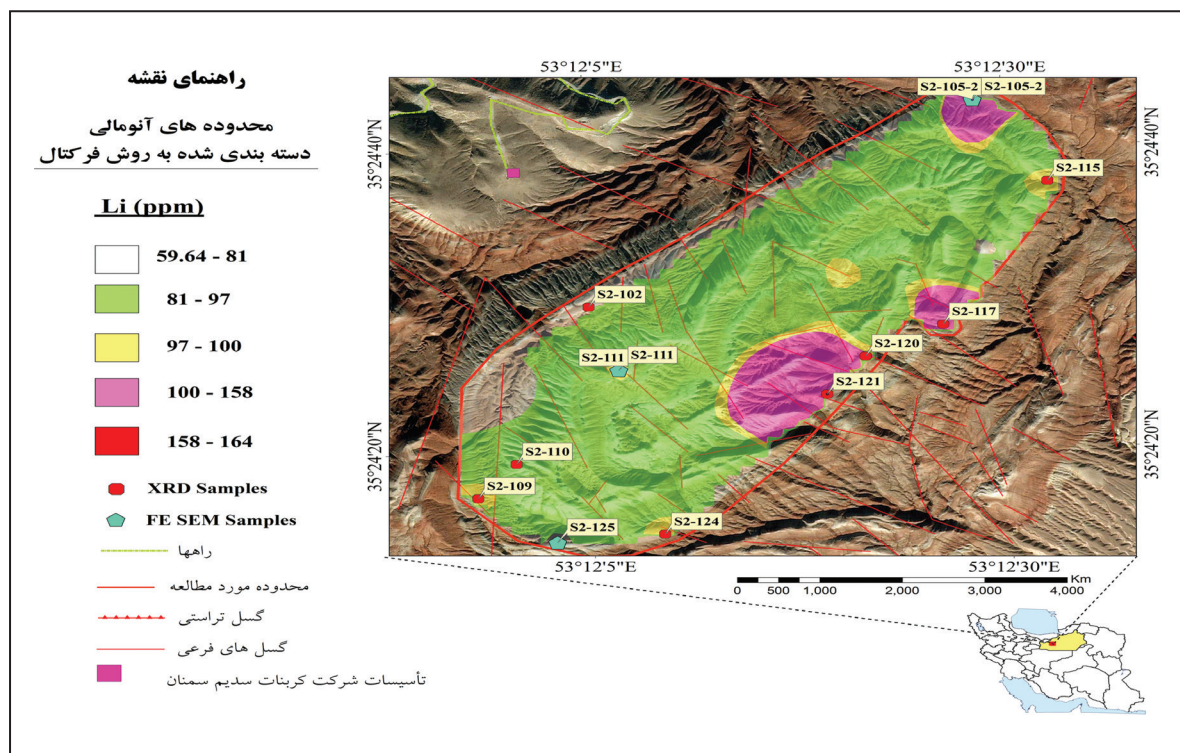
در منطقه، وجود سنگ‌های ریولیت، داسیت و توف‌های اسیدی به سن انوسن است که خود می‌توانند سنگ‌مادر و منشأ لیتیم باشند (Brown et al., 2016). به همین دلیل در دسته‌بندی ارزش‌های ۴ و ۵ به آنها داده شده است، همچنین کلاس‌های ۶ و ۷ شامل سنگ‌های آذرین بازیک، کنگومرا و آلوویال‌ها است که در این تحقیق کم‌ارزش‌ترین هستند (شکل ۱۲؛ Abdoli Sereshghi et al., 2019).

۴-۷. بررسی کانی‌شناسی آنومالی اصلی

در این پروژه پس از مطالعات انجام شده، محدوده نهایی و آنومالی اصلی، شامل بخشی از بلوک ۵ یا منطقه قراول کوه بیابانک (دیپایر سرخه) شناسایی شد. این منطقه، مورد مطالعه کانی‌شناسی به روش‌های پراش اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE SEM) قرار گرفت تا صحت نتایج به دست آمده تأیید شود. بدین منظور ۱۰ نمونه از محدوده مورد نظر برای آزمایش XRD و ۳ نمونه برای مطالعه با FE SEM برداشت شد (شکل ۱۳). کانی‌شناسی و شناسایی کانی‌های مرتبط با تجمع لیتیم در منطقه، در واحد نقشه زمین‌شناسی به سن الیگوسن- میوسن یا تشکیلات قم با پترولوژی مارنی، رسی، آهکی با میان‌لایه‌های ژپس صدفدار متمرکز شده‌اند. نمونه‌ها از محدوده‌های آنومالی‌های لیتیم به دست آمده و همچنین بیشتر از واحدهای با موفولوژی سبز- طوسی رنگ به علت داشتن کانی‌های رسی بیشتری برداشت شدند (شکل ۱۳). طبق مطالعات قبلی (Marvin, 2018; Don, 2016) سنگ‌های رسوبی حاوی کانی‌های ایلیت و کلریت توانایی جذب و جایگزینی لیتیم و پتاسیم را در بین شبکه بلوری خود دارند و می‌توانند منبع قابل توجهی از لیتیم به شمار آیند (موسوی حرمی، ۱۳۹۳؛ سبحانی، ۱۳۸۱).

محدوده‌های بی‌هنجاری و گواهی بر وجود پتانسیل لیتیم در منطقه است (سعادت و ترشیزیان، ۱۳۹۰؛ Garrett, 2004؛ Seifert and Gutzmer, 2013). از نکات مهمی که می‌توان ذکر کرد توجه به مطالعات قبلی از جمله سنگ‌های حاوی عنصر لیتیم در ایران است. لیتیم یافت شده بیشتر در واحدهای با ترکیب سنگی رس و مارن‌های گچ‌دار با سن نئوژن، همچنین واحدهای رسوبی حاوی نمک، ماسه‌سنگ، آهک و شیل شناسایی شده‌اند (سعادت و ترشیزیان، ۱۳۹۰؛ عزمی، ۱۳۹۱؛ Saadati et al., 2020).

همچنین با بررسی و مطالعه تحقیقات لیتیم در منطقه نوادای آمریکا از جمله Clayton Valley Lithium Project، لیتیم بیشتر در واحدهای سنگی رسوبی، توف و رسی به سن انوسن شناسایی شده است (Carew et al., 2016; Marvin, 2018; Don, 2016). علاوه بر این در منطقه کلیتون‌ولی توف‌های فلسیک می‌توانند سنگ اولیه مناسبی برای لیتیم باشند. منبع مهم دیگر لیتیم در این منطقه، بالاآمدگی لایه‌های نئوژن است که پیش‌تر به دنبال دگرسانی گرمایی به هکتوریت تبدیل شده‌اند. از مقایسه مطالعات انجام شده در ایران با مطالعات انجام شده در منطقه نوادای آمریکا می‌توان واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را از نظر اهمیت کانی‌زایی عنصر لیتیم کلاسه‌بندی و ارزش‌گذاری کرد (شکل ۱۲؛ Fyzollahhi et al., 2018). چرا که کانی‌های رسی، مارن‌ها و تبخیری‌ها بهترین سنگ‌های در برگیرنده لیتیم هستند و بدین ترتیب می‌توان ترکیب سنگی منطقه را به ۷ کلاس تقسیم کرد؛ مارن‌ها و رس‌ها بهترین محیط کانی‌زایی لیتیم با کلاس ۱ با ارزش‌ترین هستند و همین‌طور شیل‌ها (Teng et al., 2004)، ماسه‌سنگ‌ها (Howard, 1981) و مادستون‌ها با ارزش و در کلاس ۲ قرار می‌گیرند، لایمستون‌ها، ژپس، نمک و دولومیت با ارزش متوسط هستند. از نکات قابل توجه



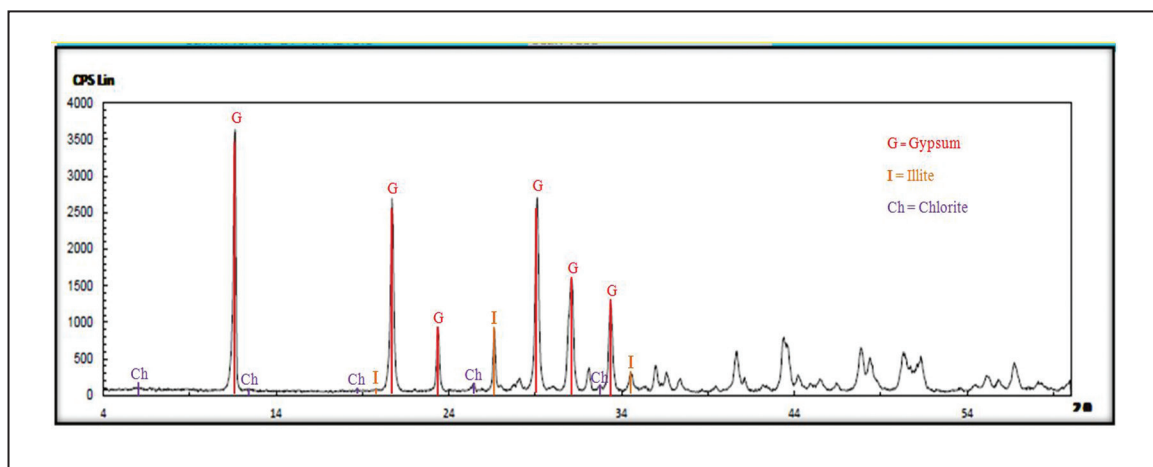
شکل ۱۳- نقاط نمونه‌برداری XRD و FESEM بر روی منطقه آنومالی در بلوک ۵.

مقدار متوسط لیتیم (پی‌پی‌ام ۱۰۰/۸) و 125-S2 با کمترین مقدار لیتیم (پی‌پی‌ام ۷۹/۱۱) از سه منطقه متفاوت برداشت شد تا مورد مطالعه کانی‌شناسی به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی قرار گیرد (شکل ۱۳). تجزیه نقطه‌ای عنصری (EDS) نمونه‌های با شماره‌های 2-105-S2 و 111-S2 نشان‌دهنده فراوانی عناصر (Si, Al, O, K) است که از عناصر اصلی کانی ایلیت با فرمول شیمیایی $(K, H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (H_2O)$ می‌باشد (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). تجزیه نقطه‌ای عنصری (EDS) نمونه 125-S2 نشان‌دهنده فراوانی عناصر Si, Al, O, Mg است که از عناصر اصلی کانی کلریت با فرمول شیمیایی $(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg, Fe)_3(OH)_6$ هستند. در شکل‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ ساختار ورقه‌ای و پولکی شکل کانی ایلیت و کلریت به خوبی مشاهده می‌شود. در گراف حاصل از آنالیز نقطه‌ای نسبت عناصر به نمایش درآمده است. با توجه به آنالیز EDS از مقدار فراوانی بالای عناصر آهن (Fe) و پتاسیم (K) در کانی می‌توان پی برد که کانی مورد نظر کانی ایلیت است، چرا که این کانی از تجزیه کانی‌های موجود در سنگ‌های آذرین حد واسط تا اسیدی همانند کانی‌های مسکوویت و فلدسپار موجود در فلدسپاتوئیدها و پگماتیت‌ها شکل گرفته است. از فراوانی بالای عنصر منیزیم (Mg) نیز می‌توان کانی کلریت را تشخیص داد، چرا که این کانی از تجزیه سنگ‌های آذرین مافیک تا حد واسط منشأ می‌گیرد (Gharrabi et al., 1998). از طرفی هر دو کانی، سیلیکاته و جزو کانی‌های رسی با ساختار بلوری ورقه‌ای هستند. به همین دلیل از روی فراوانی عناصر پتاسیم، آهن و منیزیم تفاوت بین این دو کانی قابل شناسایی است (موسوی حرمی، ۱۳۹۳؛ سبحانی، ۱۳۸۱).

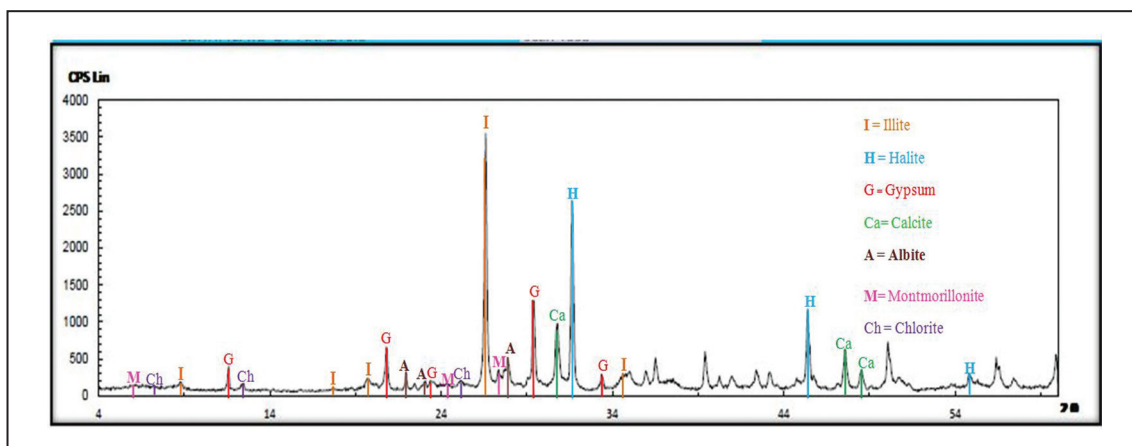
– **نتایج آنالیز XRD:** نتایج آنالیز XRD به شکل گراف به همراه تفسیر به نمایش در آمد. با بررسی کامل گراف‌ها می‌توان دریافت که کانی ژپس و ایلیت بیشترین فراوانی را در بین کانی‌های دیگر موجود در نمونه‌ها دارند. هالیت، کلسیت و کلریت، سومین، چهارمین و پنجمین کانی مشاهده شده در گراف اکثر نمونه‌ها هستند. همچنین کانی اصلی اندریت در نمونه‌های ۱۲۰ و ۱۲۱، کانی اصلی سلسیت در نمونه ۱۲۱ و کانی فرعی مونت‌موریلونیت در نمونه‌های ۱۱۰ و ۱۱۱ دیده شده که وجودشان حائز اهمیت و توجه است (شکل‌های ۱۴، ۱۵ و ۱۶).

– **میکروسکوپ الکترونی روبشی:** عمق میدان بالای SEM و ایجاد امکان تهیه تصاویر سه‌بعدی، باعث شده است که این دستگاه، کاربردهای بسیار وسیعی در زمینه مطالعه واحدهای رسوبی داشته باشد. برای این کار ابتدا با استفاده از مراجع مورفولوژی فازهای نشان داده شده توسط XRD در نمونه، استخراج و سپس مورفولوژی‌های مورد انتظار در ساختار جستجو می‌شود. (کرباسی، ۱۳۹۰). آنالیز قسمت مورد نیاز، توسط آنالیزگر EDS (آنالیز نیمه کمی عنصری EDS) تعیین شد؛ چرا که کانی‌های رسی به خصوص کانی ایلیت را به علت کوچکی بلورها تنها می‌توان با میکروسکوپ الکترونی مطالعه کرد. نتایج آنالیز EDS نشانگر وجود ترکیبی حاوی عناصر Al, O, Si, Fe, K و Cl است که وجود کانی‌های سیلیکاته و رسی را نشان می‌دهد.

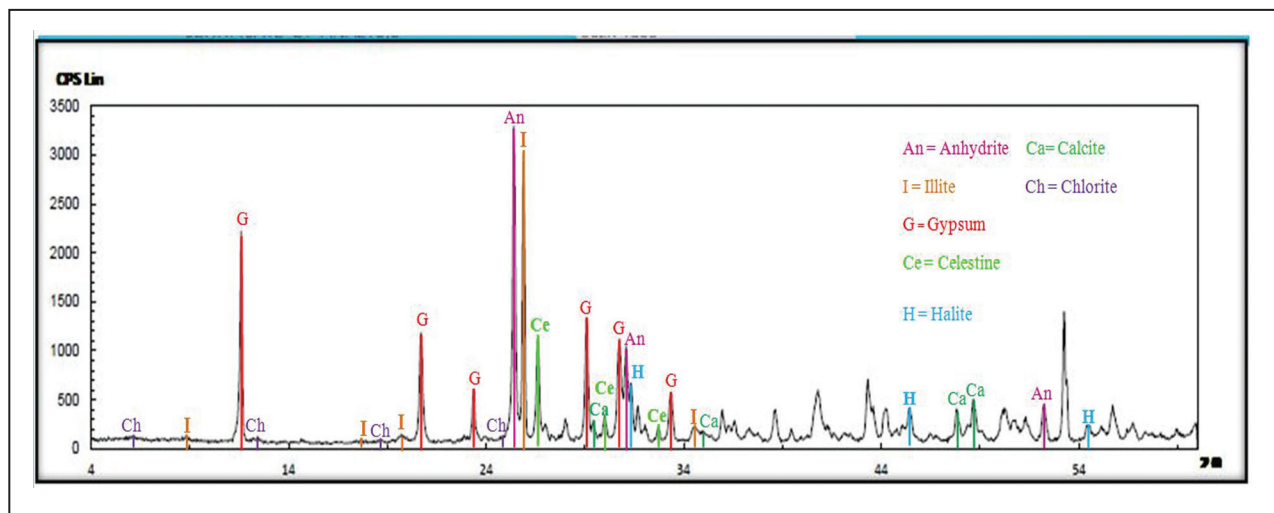
با توجه به مناطق آنومالی عنصر لیتیم و مطالعات XRD، پراکندگی کانی‌های رسی منطقه، سه نمونه شامل نمونه‌های با شماره‌های 2-105-S2 با بالاترین مقدار لیتیم (پی‌پی‌ام ۱۶۳/۹) (Li=)، همچنین نمونه 111-S2 با



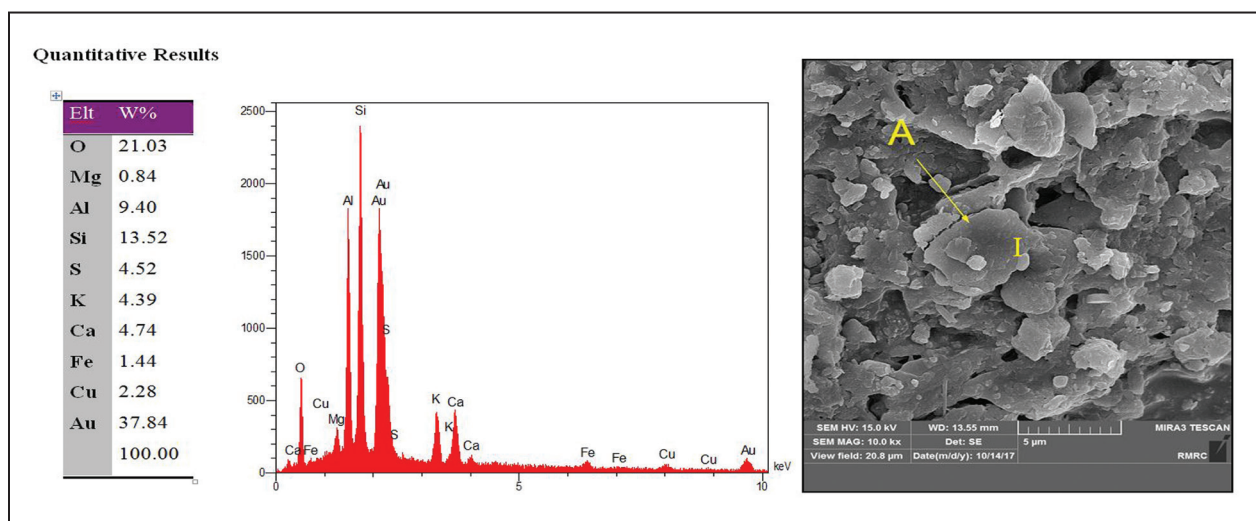
شکل ۱۴- نمونه ۲-۱۰۵ شامل Gypsum+Illite + Chlorite.



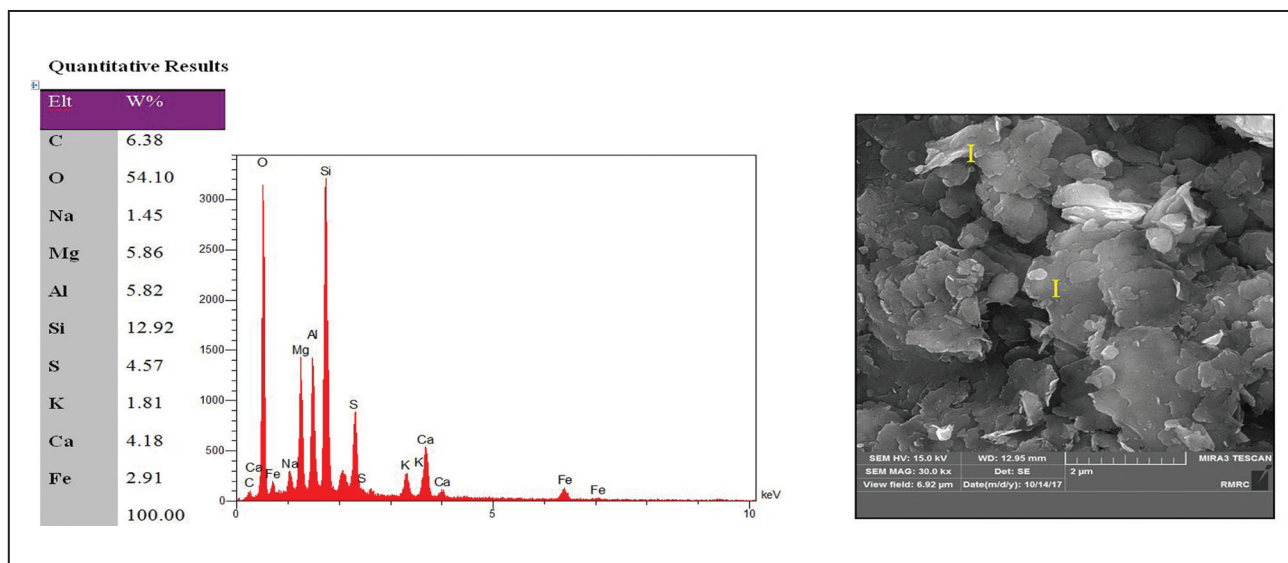
شکل ۱۵- نمونه ۱۱۱ شامل Illite + Halite +Gypsum+ Calcite +Albite +Montmorillonite +Chlorite.



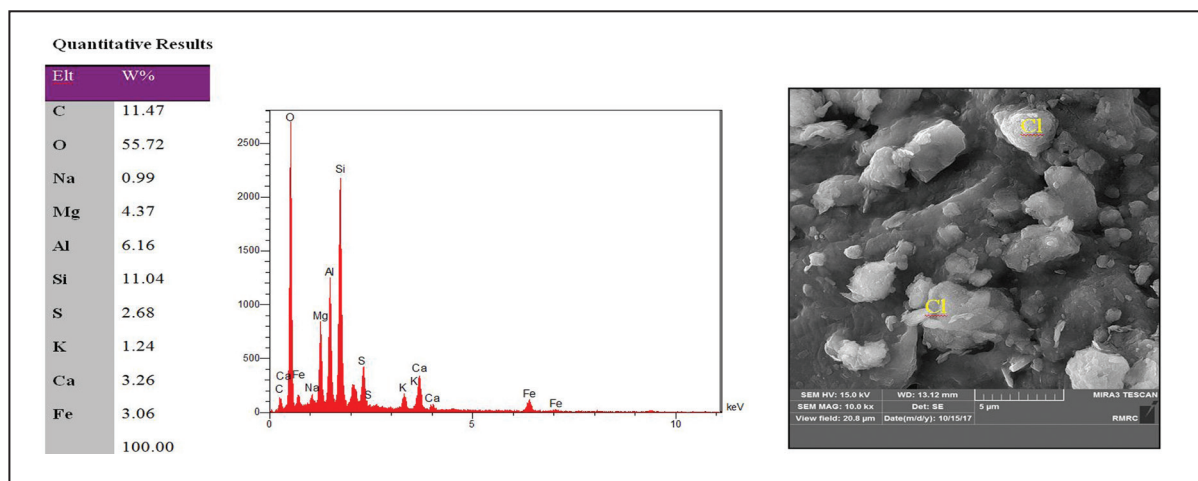
شکل ۱۶- نمونه ۱۲۱ شامل Anhydrite+ Illite +Gypsum +Celestine +Halite +Calcite+Chlorite.



شکل ۱۷- گراف و جدول حاصل از آنالیز (EDS) نمونه 105-S2، کانی ایلیت با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.



شکل ۱۸- گراف و جدول حاصل از آنالیز نقطه‌ای عنصری (EDS) نمونه 111-S2، کانی ایلیت با بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ برابر.



شکل ۱۹- گراف و جدول حاصل از آنالیز نقطه‌ای عنصری (EDS)، نمونه 125-S2، کانی کلریت با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

۵- نتیجه‌گیری

شامل بخشی از بلوک شماره ۵ یا منطقه قراول کوه بیابانک (دپایر سرخه) است، این منطقه نمونه‌های سنگی به منظور مطالعات کانی‌شناسی (XRD و FE SEM) از واحد زمین‌شناسی سازند قم به سن الیگوسن-میوسن با پترولوژی سنگ‌آهک‌های مارنی و میان‌لایه‌های ژپس دارای صدف برداشت شده است. همچنین سعی شده نمونه‌ها بیشتر از واحدهای سبز-طوسی رنگ برداشت شوند چراکه حاوی کانی‌های رسی (ایلیت و کلریت) بیشتری می‌باشند. در نتیجه در این پروژه اصلی‌ترین آنومالی با مقدار لیتیم پی‌ام ۱۶۲/۳۴ Li= معرفی شده است. تا در مراحل اکتشاف تفصیلی مورد آنالیز و بررسی‌های دقیق‌تر قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (IMIDRO) برای حمایت از این پروژه کمال تشکر را دارند.

مطالعات انجام شده در این تحقیق بر روی دو برگه زمین‌شناسی جام و سرخه در استان سمنان با هدف معرفی محدوده‌های مناسب جهت اکتشاف عنصر لیتیم در واحدهای رسوبی است. بخش شمالی هر دو برگه جزو پهنه ساختاری البرز مرکزی و بخش جنوبی جزو پهنه ساختاری ایران مرکزی است. همین امر گویای لیتولوژی مناسب شامل؛ واحدهای رسوبی و تخییری‌ها همراه با کانی‌های مختلف رسی در محدوده سنی کامبرین تا به امروز می‌باشد. سنگ‌های رسوبی گسترده‌گی زیادی در منطقه مورد مطالعه دارند و به دلیل خصوصیت انحلال بالای لیتیم با آب و فراوانی و گسترده‌گی شبکه آبراهه‌های منطقه امکان مهاجرت عنصر لیتیم از سنگ‌های اسیدی و تمرکز در واحدهای رسوبی جوان‌تر همانند رس‌ها، مارن‌ها و شیل‌ها در منطقه مورد مطالعه فراهم است که این مسئله خود اهمیت مطالعه واحدهای رسوبی را به خوبی نمایان می‌کند.

در این تحقیق از روش اکتشاف ژئوشیمیایی فرکتالی عیار-تعداد جهت جداسازی بی‌هنجاری‌ها از زمینه استفاده شد. محدوده اصلی دارای بی‌هنجاری لیتیم،

کتابنگاری

- آقاباتی، س.ع، ۱۳۸۸- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص. ۷۰ تا ۹۰.
- آقاباتی، س.ع، فتوتی، و. و اسکندری، ش.، ۱۳۸۰- فعالیت‌های زمین‌شناسی و اکتشافی انجام شده در استان‌ها و برنامه پنج ساله سوم، تهران، سازمان زمین‌شناسی، ۱۲۰۰ ص، www.sid.ir/FileServer/5931394h23162.
- حاجی‌بهرامی، م.، تقی‌پور، ن. و قربانی، ق.، ۱۳۹۴- منشأ کانسار آهن همیرد، شمال خاور سمنان؛ با استفاده از مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار (O, C, S)، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۷، سال بیست و پنجم، ۷۰-۶۱، DOI/10.22071/GSJ.2015.41366.
- سعادت، ح. و ترشیزیان، ح.، ۱۳۹۲- اکتشاف منابع لیتیم در کاشمر، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد، واحد تهران شمال.
- سحابی، ف.، ۱۳۸۱- سنگ‌شناسی رسوبی، ناشر دانشگاه تهران.
- عابدینی، ع.، ۱۳۹۵- زمین شیمی شیل‌های سازند شمشک محدوده معدنی داش آغل، بوکان، شمال باختر ایران: برخاستگاه، هوازگی منشأ، شرایط اکسیداسیون قدیمه و جایگاه تکنونیک، نشریه علمی - پژوهشی رخساره‌های رسوبی، ناشر دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۹، ۷۲-۱۹، DOI: 10.22067/sed.facies.v9i2.52640.
- عزمی، ح.، ۱۳۹۱- طرح اکتشافات مواد معدنی در استان‌های خراسان رضوی، جنوبی، شمالی، پی‌جویی عنصر لیتیم در بخش‌های از استان خراسان رضوی، مجری طرح: محمد تقی کره‌ای، جمال روشن روان.
- فتوتی، و.، اخوت، ز. و رضائیان، م.، ۱۳۸۷- گزارش زمین‌شناسی، معدنی دورسنجی ورقه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ در محدوده استان سمنان، مدیریت ژئومتیکس.
- قمیشی، آ.، جلیلیان، م. و میرتوحیدی، آ.، ۱۳۷۵- گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، جام، معاونت زمین‌شناسی و مدیریت زمین‌شناسی منطقه‌ای، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کرباسی، م.، ۱۳۹۰- میکروسکوپ الکترونی روشی و کاربرد آن در علوم مختلف و فناوری نانو، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، فصل دوم، ص ۸.
- موسوی حرمی، ر.، ۱۳۹۳- رسوب‌شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد آستان قدس رضوی.

References

- Abdoli Sereshghi, H., Ganji, A., Ashja Ardalan, A., Torshizian, H. and Taheri, J., 2019- Detection of metallic prospects using staged factor and fractal analysis in Zouzan region, NE Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences* 11, No.4, 256-266, http://ijes.mshdiau.ac.ir/article_669400.html.
- Afzal, P., Khakzad, A., Moarefvand, P., Omran, N. R., Esfandiari, B. and Alghalandis, Y. F., 2010- Geochemical anomaly separation by multifractal modeling in Kahang (Gor Gor) porphyry system, Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 104: 34-46, DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.02.008.
- Afzal, P., Rezaei, S., Lotfi, M., Jafari, M. R., Meigony, M. S. and Khalajmasoumi, M., 2015- Investigation of copper and gold prospects using index overlay integration method and multifractal modeling in Saveh 1:100,000 sheet, Central Iran. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 31: 51-74, DOI: 10.1515/gospo-2015-0038.
- Afzal, P., Yousefi, M., Mirzaei, Ghadiri-Sufi, E., Ghasemzadeh, S. and Daneshvar Saein, L., 2019- Delineation of podiform-type chromite mineralization using Geochemical Mineralization Prospectivity Index (GMPI) and staged factor analysis in Balvard area (southern Iran). *Journal of Mining and Environment* 10: 705-715, DOI: 10.22044/jme.2019.8107.1678.
- Ahmadfaraj, M., Mirmohammadi, M., Afzal, P., Yasrebi, A. B. and Carranza, E. J., 2019- Fractal modeling and fry analysis of the relationship between structures and Cu mineralization in Saveh region, Central Iran. *Ore Geology Reviews* 107, 172-185, DOI: 10.1515/gospo-2015-0038.
- Alavi-Naini, M., 1972- Etude geologique de la region de Djam. Geological Report 23, Geological Survey of Iran, Tehran: 1-288, link.springer.com > pdf > bbn:978-94-007-5625-0 > 1.pdf.
- Barak, S., Bahroudi, A. and Jozanikohan, G., 2017- Exploration of neysian area by geochemical data and fractal concentration-number (C-N). National Conference on Science, Engineering: 1-10, https://www.researchgate.net/publication/323686101_Exploration_of_neysian_area_by_geochemical_data_and_fractal_concentration-number_C-N.
- Benson, T., Coble, M. A., Rytuba, J. J. and Mahood, G., 2017- Lithium enrichment in intracontinental rhyolite magmas leads to Li deposits in caldera basins, *Nature Communications* 8: 270, DOI: 10.1038/s41467-017-00234-y.
- Brown, T., Walters, A., Idoine, N., Gunn, G., Shaw, R. A. and Rayner, D., 2016- Lithium, British Geological Survey, Nottingham, UK: 139, www.bgs.ac.uk > downloads > start.
- Carew, T., Geo, J. P. and Rossi, M. E., 2016- Independent Technical Report for the Lithium Nevada project, Nevada, USA. SRK Consulting (Canada) Inc: 19, www.lithiumamericas.com > _resources > pdf > investors.
- Cheng, Q., Agterberg, F. P. and Ballantyne, S. B., 1994- The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *Journal of Geochemical Exploration* 51(2):109-130, DOI: 10.1016/0375-6742(94)90013-2.
- Davis, J. C., 2002- Statistics and data analysis in geology, 3 rd edn, Wiley, New York, pp 461-601, <http://www.kgs.ku.edu/Mathgeo/Books/Stat/ClarifyEq4-81.pdf>.
- Deng, J., Wang, Q., Yang, L., Wang, Y., Gong, Q. and Liu, H., 2010- Delineation and explanation of geochemical anomalies using fractal models in the Heqing area, Yunnan Province, China. *Journal of Geochemical Exploration* 105: 95-105, DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.04.005.
- Don, M., 2016- Lithium Brine/Claystone Company Advancing Projects in Nevada, Clayton Valley Project. Cypress Development Corp: 1-22, <https://www.cypressdevelopmentcorp.com/projects/nevada/glory-lithium-project-nevada>.
- Evans, K., 2014- Lithium, Critical Metals Handbook. American Geophysical Union, pp 230-261, <https://assets.thalia.media/images-adb/b2/12/b212a930-eac5-4491-adbe-4f91c0880283.pdf>.
- Farahmandfar, Z., Jafari, M. R., Afzal, P. and Ashja Ardalan, A., 2020- Description of gold and copper anomalies using fractal and stepwise factor analysis according to stream sediments in NW Iran. *Geopersia* 10 (1), 135-148, https://geopersia.ut.ac.ir/article_72622_a325025f2ed98180b86511ef7ee4a6f8.pdf.
- Fyzollahhi, N., Torshizian, H., Afzal, P. and Jafari, M. R., 2018- Determination of lithium prospects using fractal modeling and staged factor analysis in Torud region, NE Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 189: 2-10, DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.09.017.
- Garrett, D. E., 2004- Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride, their deposits, processing, uses and properties. Elsevier Academic Press, pp. 476, <https://www.worldcat.org/title/handbook-of-lithium-and-natural-calcium-chloride-their-deposits-processing-uses-and-properties/oclc/53360539>.
- Gharrabi, M., Velde, B. and Sagon, J. P., 1998- The Transformation of Illite to Muscovite in Pelitic Rocks: Constraints from X-ray Diffraction. *Clays and Clay Minerals*. 46 (1): 79-88, DOI: 10.1346/CCMN.1998.0460109.
- Gonçalves, M. A., Mateus, A. and Oliveira, V., 2001- Geochemical anomaly separation by multifractal modeling. *Journal of Geochemical Exploration* 72: 91-114, DOI: 10.1016/S0375-6742(01)00156-X.
- Grim, R. E., 1953- Clay mineralogy. McGraw-Hill Book Company, New York, p 521, https://www.worldcat.org/title/clay-mineralogy-mcgraw-hill-series-in-geology-consulting-editor-robert-r-shrock/oclc/769810577&referer=brief_results.
- Hadadan, M., 1994- Geological Map of 1/250000 Semnan. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Hassanipak, A. A., 2005- Data analysis of exploration. Tehran University publisher, pp 35-56

- Hassanpour, S. and Afzal, P., 2013- Application of concentration–number (C–N) multifractal modeling for geochemical anomaly separation in Haftcheshmeh porphyry system, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 6: 957-970, DOI: 10.1007/s12517-011-0396-2.
- Hawkes, H. E. and Webb, J. S., 1962- *Geochemistry in mineral exploration* by H.E. Hawkes and J.S. Webb. Harper & Row, New York, pp 414-415, <https://www.abebooks.com/book-search/title/geochemistry-in-mineral-exploration/>.
- Howard, J., 1981- Lithium and Potassium Saturation of Illite/Smectite Clays from Interlaminated Shales and Sandstones, Department of Geological Sciences, State University of New York at Binghamton Binghamton, New York 13901, Clays and Clay Minerals. Vol. 29, No. 2, 136- 142, <http://www.clays.org/journal/archive/volume%2029/29-2-136.pdf>.
- Jebeli, M., Afzal, P., Pourkermani, M. and Jafari Rad, A., 2018- Correlation between rock types and Copper mineralization using fractal modeling in Kushk-e-Bahram deposit, Central Iran. *Geopersia* 8: 131-141, DOI: 10.22059/ GEOPE .2017 .237332.648334.
- Jiangxi, 1996- China, Geochemical Exploration Report in Semnan- Kashmar Area, Stream sediment survey, March, Published by Geological Survey of Iran.
- Kesler, S. E, Gruber, P. W, Medina, P. A, Keoleian, G. A, Everson, M. P. and Wallington, T. J., 2010- Global lithium resources- Relative importance of pegmatite, brine and other deposits: *Ore Geology Reviews*, v. 48 p. 55- 69, DOI: 10.1016/j.oregeorev.2012.05.006.
- Kunasz, I., 2006- Lithium resources, Industrial minerals and rocks, Kogel JE (ed): *Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses*. Littleton, pp 599-613, Mineral profile: Lithium - British Geological Survey, www.bgs.ac.uk > downloads > start.
- Li, C., Xu, Y. and Jiang, X., 1994- The fractal model of mineral deposits. *Geology of Zhejiang* 10: 25-32, https://www.researchgate.net/publication/285829383_The_fractal_model_of_mineral_deposits.
- Lima, A., DeVivo, B., Cicchella, D., Cortini, M. and Albanese, S., 2003- Multifractal IDW interpolation and fractal filtering method in environmental studies: An application on regional stream sediments of (Italy), Campania region. *Applied Geochemistry* 18: 1853-1865, DOI: 10.1016/S0883-2927(03)00083-0.
- Mandelbrot, B. B., 1983- The Fractal Geometry of Nature. *American Journal of Physics* 51: 468, <https://doi.org/10.1119/1.13295>.
- Marvin, R. D., 2018- Dean Lithium project national instrument 43-101 technical report. Cypress Development Corp: 1-33, <https://www.cypressdevelopmentcorp.com/site/assets/files/3731/final-final-feb-17-2018-tech-report-dean-project.pdf>.
- Norouzi, M. and Abedini, A., 2017- Provenance and paleo-redox conditions of shales of the Shemshak Formation (Lower Jurassic) in northwest of Iran. Thirty fifth Geological Conference, Geological Survey of Iran, Tehran :1-3.
- Saadati, H., Afzal, P., Torshian, H. and Solgi, A., 2020- Geochemical exploration for Li using Geochemical Mapping Prospectivity Index (GMPI), fractal and Stage Factor Analysis(SFA) in NE Iran. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* (In press), DOI: 10.1144/geochem2020-020.
- Sadeghi, B., Moarefvand, P., Afzal, P., Yasrebi, A. and Daneshvar, L., 2012- Application of fractal models to outline mineralized zones in the Zaghia iron ore deposit, Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 122: 9-19, DOI: 10.1016/j.gexplo.2012.04.011.
- Seifert, Th. and Gutzmer, J., 2013- Geology and Exploration of the Li-Sn-W-Rb-Cs-deposit Zinnwald, eastern Erzgebirge, Germany, Conference Paper(12th Biennial SGA Meeting 12- 15 AUGUST 2013, UPPSALA, SWEDEN Mineral deposit research for a high-tech world), <https://www.researchgate.net/publication/305318762>.
- Simmt, E. and Davis, B., 1998- Fractal Cards: A Space for Exploration in Geometry and Discrete Mathematics. *Mathematics Teacher* 91:102-108, https://www.researchgate.net/publication/234582979_Fractal_Cards_A_Space_for_Exploration_in_Geometry_and_Discrete_Mathematics.
- Soltani, F., Moarefvand, P., Alinia, F. and Afzal, P., 2019- Characterizing Rare Earth Elements by coupling multivariate analysis factor analysis and geostatistical simulation; case-study of Gazestan deposit, central Iran. *Journal of Mining and Environment* 10, 929-945, DOI:10.22044/JME.2019.8374.1716.
- Stocklin, J., 1974- Possible Ancient Continental Margins in Iran, In the *Geology of Continental Margin*, Edited by C.A.Burk and C.L.Dark. Springer, New York, pp. 837-887.
- Teng, F. Z., McDonough, W. F., Rudnick, R. L., Dalpé, C., Tomascak, P., Chappell, B. W. and Gao, S., 2004- Lithium isotopic composition and concentration of the upper continental crust, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68: 4167- 4178, DOI: 10.1016/j.gca.2004.03.031.
- Zuo, R., 2011- Decomposing of mixed pattern of arsenic using fractal model in Gangdese belt, Tibet, China. *Applied Geochemistry* 26: 271-273, DOI: 10.1016/j.apgeochem.2011.03.122.





Mineral Chemistry and Whole Rock Isotope Chemistry: an aperture to petrogenesis of the Abbasabad basaltic- andesitic rocks, east of Shahrood

H. Ghasemi^{1*}, M. Arabzadeh Baniyadi² and M. Rostami²

¹Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

²Ph. D. Student, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 2020 January 15

Accepted: 2020 May 18

Abstract

The Abbasabad Eocene volcano-sedimentary belt in the east of Shahrood includes of basaltic-andesitic rocks and related pyroclastics along with interlayers of sedimentary rocks. The volcanic rocks include olivine basalt, trachybasalt, trachy andesite, trachyandesite and andesite with various textures such as hyalomicrolitic porphyry, microlitic porphyry, glomeroporphyry, trachytic and sieve textures. The main minerals of the rocks are clinopyroxene and feldspar. Pyroxene composition ranges from diopside to augite and feldspar composition is in the ranges of orthoclase and oligoclase to bytownite. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\text{Initial})$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(\text{Initial})$ ratios of these rocks, taking into account the age of 40 Ma for them, range from 0.7042 to 0.7047 and 0.5127 to 0.5130 respectively. Also, the values of $\epsilon\text{Nd}(0)$ and $\epsilon\text{Nd}(t=40\text{Ma})$ of them range between 2.67 to 7.72 and 3.8 to 8.8, respectively, indicate an enriched mantle source for them. Whole rock, isotopic and clinopyroxene chemistry indicate arc-related calc-alkaline-alkaline nature and basaltic composition of the parental magma originated from partial melting of an enriched OIB source in an extensional intra-arc setting. Geothermobarometry calculations on clinopyroxene indicate a temperature range of 1100-1150 C° and pressures of 2-13 kb for crystallization of the magma.

Keywords: Mineral chemistry, Isotope chemistry, Abbasabad, Shahrood.

For Persian Version see pages 135 to 144

*Corresponding author: H. Ghasemi; E-mail: h-ghasemi@shahroodut.ac.ir

Geochemistry of kaolin occurrence in the Abolhasani-Zereshkouh area, southeast of Damghan, NE Iran

M. Norouzi^{1*}, A. Abedini², A. A. Calagari³ and F. Kangarani Farahani⁴

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

²Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

³Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

⁴Ph.D., Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 2019 March 19

Accepted: 2019 September 30

Abstract

The kaolin occurrence in the Abolhasani-Zereshkouh area (south of Shahroud, northeast of Iran) is a product of alteration of Eocene andesitic rocks. With attention to mineralogical studies, kaolinite, quartz, chlorite, montmorillonite, illite, rutile, calcite, orthoclase, albite, vermiculite, palygorskite, jarosite, and hematite are the mineral assemblage of this alteration occurrence. Calculations of mass balance of elements with assuming Zr as monitor immobile element show that elements such as Si, Fe, Mg, Na, K, Ti, Cr, Ba, Co, Cs, Rb, U, V, W, Ni and REE were partially depleted and elements such as Hf, Zn and Cd enriched during the kaolinitization processes of andesitic rocks. Other elements including Al, Ca, P, Mn, Ga, Nb, Sr, Ta, Th, Y, Cu, Pb and Tl were undergone both leaching and fixation processes. The mass decrease of Si, Fe, K, Rb, Cs and Ba reveals destruction of plagioclase and hornblende by highly acidic hydrothermal fluids. The presence of two abnormal decreasing and increasing trends for the elements Al, Ga, P, Nb, Ta, and Y can be attributed to the low pH of the altering fluids, the high water-to-rock ratio and the abundance of complexing ligands. The chondrite normalized REE distribution pattern implies differentiation and enrichment of LREE relative to HREE and the occurrence of negative Eu and Ce anomalies during kaolinitization. The decrease in Ce anomaly in kaolin samples (0.51-0.78) compared to andesite (0.90) implicitly indicates the role of hypogene fluids in development of kaolin in the Abolhasani-Zereshkouh area. The decrease in Eu anomaly in kaolin samples (0.40-0.61) compared to andesite (0.96) also indicates the role of highly acidic high-temperature hydrothermal fluids during the formation of kaolin. The range of values of some geochemical parameters such as TiO₂ (0.56 to 0.94 wt.%), Ce+Y+La (28.8 to 127.1 ppm), Ba+Sr (727 to 2331 ppm), Cr+Nb (48.7 to 84.9 ppm) and TiO₂+Fe₂O₃ (1.50 to 4.09 wt.%) demonstrates that the role of hypogene processes relative to supergene ones was prominent during the development of kaolin in the study area. Combination of the results of mineralogical and geochemical studies show that changes in the chemistry of the fluids responsible for alteration, adsorption, and scavenging by metal oxides played important roles in the mobility and distribution of elements during kaolinitization.

Keywords: Geochemistry, Kaolin, Distribution of elements, Mass balance, Hypogene processes, Abolhasani-Zereshkouh, Iran.

For Persian Version see pages 123 to 134

*Corresponding author: M. Norouzi; E-mail: masoumeh.norouzi63@gmail.com

Lithostratigraphy and Biostratigraphy of the ammonites from the Upper Chaman Bid Formation (Tithonian) at the type locality (NE Iran, Koppeh Dag)

T. Sarbandi Farahani^{1*}, M. Yazdi² and M. R. Majidifard³

¹Ph.D., Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

²Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

³Associate Professor, Research Institute for Earth Science, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

Received: 01 February 2020

Accepted: 23 June 2020

Abstract

The present study deals with the ammonites from the upper part of the Chaman Bid Formation (Middle-Upper Jurassic) at the type locality. Following ammonite families are present: Perispinctidae, Ataxioceratidae, Haploceratidae, Oppeliidae and Aspidoceratidae, which indicate the Biozones: Hybonoticeras hybobotum, Semiformiceras semiforme, Semiformiceras fallauxi, Microcanthoceras ponti and Micracanthoceras micracanthum Zones. The ammonite fauna is closely related with the Submediterranean Province, with few affinities to South Tethys (Ethiopian), during the Tithonian. Following taxa are reported for the first time from North Iran: Zappalia cf. zapalensis, Paraulacosphinctes transitorios, P. seneoides.

Keywords: Biostratigraphy, Lithostratigraphy, Jurassic, ammonite, Koppeh Dag.

For Persian Version see pages 95 to 108

*Corresponding author: T. Sarbandi Farahani; E-mail: tayebefarahani2014@gmail.com

Petrography and petrology of early Paleozoic bimodal metavolcanic rocks in North of Maku, North West of Iran

M. Moayyed^{1*}, F. Valinasab Zarnagh², A. Jahangiri¹ and H. Azizi³

¹Professor, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Ph.D. Student, Department of Earth Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³Professor, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 2019 September 03

Accepted: 2020 February 01

Abstract

There are Discontinuous outcrops of volcanic rocks in the northern regions of Maku. The volcanic rocks were metamorphosed in the green schist facies. These volcanic complex were bimodal and compose of acidic and basic lava and pyroclastic rocks. The lava of this unit covers the Cambrian and equivalent of Lashkarak rock units and is progressively covered by Devonian dolomitic units. The geochemical data of metabasic and metarhyolite rocks signify transitional to alkaline nature of the primary magma and they have a negative gradient of REE and LREE / HREE ratio of those rocks are high and enriched in HFS elements. Metarhyolite rocks are similar to the rift setting rhyolites (A1-Type). Geochemical data indicate that the studied rocks are due to fractional crystallization of basic magma with crustal contamination, and in particular, the studied rocks have a genetic relationship and originate from a common magma. The magma of the studied rocks generated by 3-10 percent partial melting of an enriched garnet peridotitic mantle source in an intra-continental extensional rift setting. This tectonic setting is concordant with the known extensional rift setting governed on other parts of Iran during the early Paleozoic, primary stages of generation and development of the Paleotethys.

Keywords: Early Paleozoic, Bimodal volcanism, Rift, Paleotethys, Maku, North West of Iran.

For Persian Version see pages 109 to 122

*Corresponding author: M. Moayyed; E-mail: moayyed@tabrizu.ac.ir

Oil-source rock correlation in super-giant Gachsaran oilfield

M. Safaei Farouji¹, H. Rahimpour Bonab^{2*}, M. R. Kamali³ and B. Ghorbani⁴

¹Ms. C., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

²Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

³Professor, Australian School of Mines, Minerals, Energy and Chemical Engineering, Curtin University, Australia

⁴Ph. D. Student, Geochemistry research group, Faculty of Geoscience, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

Received: 2019 July 06

Accepted: 2020 April 22

Abstract

Geochemical investigation of Kazhdumi and Pabdeh formations suggest a shaly and carbonate lithology as well as a suboxic-anoxic marine depositional environment for both formations. On the other hand, the thermal maturity of the Kazhdumi Formation is equivalent to the mid of oil window while thermal maturity-related parameters show that the Pabdeh Formation has not entered the oil window. Biomarkers are indicative of derivation of the four oil samples from a carbonate-shaly or marly source rock. Also, thermal maturity-related biomarkers reflect a peak mature stage for all of the four samples. Different values of oleanane index in oil samples is implying a more significant role of the Pabdeh Formation in hydrocarbon embedded in 36, 56, 55 wells in compare to well number 22. In general, oil-source correlation introduces both Kazhdumi and Pabdeh formations as source rocks for the crude oils.

Keywords: Biomarker, Lithology, Depositional setting, Oil-source rock correlation..

For Persian Version see pages 71 to 80

*Corresponding author: H. Rahimpour Bonab; E-mail: rahimpour@ut.ac.ir

Tectono-magmatic setting of the Albite-bearing metasomatite of the Ghoghart magnetite-apatite ore deposits, Bafq, Central Iran

K. Hoseini¹ and M. Shahpasandzadeh^{2*}

¹M.Sc., Department of Earth sciences, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran

²Associate Professor, Department of Earth sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Received: 2020 January 15

Accepted: 2020 July 18

Abstract

The Late Neoproterozoic-Early Cambrian albite-bearing metasomatite, rhyolites and rhyodacites predominantly constitute the host rocks of the Choghart magnetite-apatite deposit in Central Iran. The geologic evidences show three types of albites in the host albite-bearing metasomatite. The performed mineralogical and geochemical investigations display enrichment of REE-Y-Ti-Th in the pink and fleshy red albites, whereas the white albites are barren without any ore mineralization. The concentration of REE-Y-Ti-Th-U bearing minerals along the fractures, the variation of Th/U ratio and result of stable isotopes studies of the calcites syn-paragenesis with the albites reveal the involvement of mixed magmatic and high- medium temperature hydrothermal processes play an important role in the ore genesis. The similarity pattern of the REEs and trace elements in different types of albite-bearing metasomatite and rhyolite manifest the origin of REE-Y-Ti-Th mineralization as the rhyolitic-rhyodacitic magmas, related to a continental/oceanic subduction zone. According to this research, tectono-magmatic setting of the albite-bearing metasomatite in the Choghart deposit is suggested as a Calc-alkaline magmatism, associated with the active continental margin and oceanic arcs.

Keywords: REE-Y-Ti-Th mineralization, albite-bearing metasomatite, magmatic arc, Choghart, central Iran.

For Persian Version see pages 81 to 94

*Corresponding author: M. Shahpasandzadeh; E-mail: mshahpasandzadeh@gmail.com

Separating geochemical anomalies of lithium by the use of Concentration-Number fractal modeling on sedimentary rocks of the Jam and Sorkheh 1:100000 sheet, Semnan Province

L. Jaberansari¹, H. Torshizian^{2*}, N. Kohansal-Ghadimvand³ and M. Pourkermani⁴

¹Ph.D., Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

²Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran

³Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

⁴Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 2020 April 30

Accepted: 2020 August 24

Abstract

The current study was conducted on sedimentary units of the 1:100000 sheet of Jam and Sorkheh in Semnan Province, northeast of Iran. Because of its special geochemical properties, lithium can be concentrated in sedimentary rocks with clay minerals. Samples were collected from stream sediments and lithogeochemical in three steps and were processed using Concentration-Number fractal modeling. Concentration-Number fractal modeling is a suitable geochemical exploration method to separate anomaly from the background. It was utilized to identify anomalous areas for lithium and the results were presented in the form of maps. As a result, The Gharavol kooch area of Biabanak in central part of sheet of Sorkheh. According to the lithology of the area, which contains marl and clay minerals (Illite and Chlorite), It was main anomaly between the two sheets. This area should be further investigated in Detailed exploration studies.

Keywords: Lithium, Geochemical exploration, Concentration-Number (C-N) fractal modeling, Clay, NE Iran.

For Persian Version see pages 47 to 60

*Corresponding author: H. Torshizian; E-mail: habib.torshizian@gmail.com

Tectonic provenance of the Upper Red Formation sandstones in the Hesar section, Mahneshan Basin (west Alborz)

N. Qavim¹, N. Etemad-Saeed^{2*} and M. Najafi²

¹Ms.c. student, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS)

²Assistant Professor, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS)

Received: 24 November 2019

Accepted: 13 June 2020

Abstract

The Mahneshan Basin is one of the syntectonic Neogene sub-basins of the Central Iran. The basin is filled by about 4 km of the Miocene Upper Red Formation deposits, showing a combination of halokinetic and growth strata patterns. To assess the provenance evolution of sediments in north of the Mahneshan basin named the Hesar section, we conducted remote sensing mapping, field survey, as well as petrographical and modal analyses of sandstones. Our results reveal that the sandstones are fine to medium-grained sedarenites ($Q_{46}F_{10}Rf_{44}$) and mainly derived from fine-grained siliciclastics, metamorphic, carbonate, chert and andesitic volcanic rocks, which were exposed in an orogenic tectonic setting ($Qm_{34}F_{10}Lt_{56}$ and $Qt_{49}F_{10}L_{41}$). The combination of provenance data and northeastward paleocurrent direction, reflect that the sediments mainly supplied from basement rocks of the Takab Complex and Qom Formation in southwest of Mahneshan Basin. The unchanged provenance of sediments along the studied succession, indicate that regional shortening and uplift of parent rocks has begun before deposition of the Upper Red Formation (Miocene) and continued during deposition of these sediments. This is in agreement with previous age assumption for exhumation of Takab Complex during Oligocene time.

Keywords: Mahneshan Basin, Syn-tectonic, Upper Red Formation, Provenance, Takab Complex.

For Persian Version see pages 37 to 46

*Corresponding author: N. Etemad-Saeed; E-mail: n.etemad@iasbs.ac.ir

Teredolites ichnofacies and its role in sequence stratigraphic analysis of the upper part of Ziveh Formation, Moghan area, Eastern Azarbaijan province, Northwest Iran

N. Abbassi^{1*}, M. Mirzaie Ataabadi² and M. Hasanpour³

¹Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²Assistant Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³M.Sc. Student, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2019 September 03

Accepted: 2020 February 02

Abstract

A stratigraphic section from the upper part of Ziveh Formation (Middle Miocene) has been surveyed in north Ojagh Kandi village, northeast Kalibar, Azarbaijan province. Ziveh Formation overlaid by Tortonian sediments as an angular unconformity in the studied section and its lower boundary covered by recent alluvium. A diverse body fossil assemblage includes molluscan, plants, and vertebrate have been collected from this section. Among them, abundant ichnofossils of bivalves on woodground, *Teredolites longissimus* discovered in a horizon. Occurrence of wooden substrate in this horizon shows first events of rising of the sea level, and its basal background is considerable for the lower boundary for TST. On the other hand, *Teredolites* bearing horizon indicates beginig of transgressive event in the sequence stratigraphic interpretation of the studied section.

Keywords: Ichnofacies, *Teredolites*, Wood-ground, Moghan, Paratethys.

For Persian Version see pages 15 to 24

*Corresponding author: N. Abbassi; E-mail: abbasi@znu.ac.ir

راهنمای نگارش مقاله‌های فصلنامه علوم زمین

هدف: هدف فصلنامه علوم زمین، فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات علمی و فنی میان استادان، پژوهشگران و متخصصان است. فصلنامه مقالات مستند به نتایج پژوهش‌های بنیادی و کاربردی، دارای نوآوری و مطالب مفید درباره موضوعات وابسته به زمین‌شناسی ایران و یا نتایج تحقیقات نظری بکر در ارتباط با علوم زمین را به چاپ می‌رساند.

اصالت پژوهش: مسئولیت هر مقاله از نظر صحت و اصالت علمی، عدم چاپ قبلی در مجلات دیگر، و ترتیب نام پدید آورندگان بر عهده شخص مکاتبه‌کننده خواهد بود و کلیه مکاتبات با وی صورت خواهد گرفت. نسخه صفحه‌آرایی شده مقاله، تنها پس از تأیید صحت متن و اصالت پژوهش توسط نویسنده مکاتبه‌کننده، به چاپ خواهد رسید.

بحث و اظهار نظر: خوانندگان می‌توانند بحث درباره مقالات چاپ شده را تا حداکثر ۳ ماه پس از انتشار به دفتر نشریه ارسال دارند تا در صورت تصویب در هیئت تحریریه، همراه با پاسخ احتمالی نویسنده گان، به چاپ برسد.

حجم و ساختار: مقاله باید دارای ساختار استاندارد و حاوی چکیده، کلید واژه، مقدمه، بدنه اصلی (معرفی موضوع مورد بررسی، شرح روش‌ها، آزمایش‌ها و یا برداشت‌ها، بحث و نتیجه‌گیری)، سپاسگزاری (در صورت ضرورت) و فهرست مراجع، باشد. حجم مقاله حداکثر ۱۵ صفحه مطابق با راهنمای نگارش، یا ۱۰ صفحه نشریه، با در نظر گرفتن تصاویر، جداول و پیوست‌ها است.

مشخصات: عنوان مقاله باید نسبتاً کوتاه (حداکثر ۱۵ کلمه) و منعکس‌کننده تمام ویژگی‌های اصلی پژوهش باشد. نام و نام خانوادگی، وابستگی سازمانی و پست الکترونیکی پدیدآورندگان، مطابق رویه نشریه، در زیر عنوان مقاله آورده می‌شود (نام فردی که مکاتبات با او صورت خواهد گرفت، با ستاره یا خط مشخص شده و نشانی کامل پستی و تلفن نویسنده مسئول (ثابت و همراه) نیز ذکر شود).

چکیده: چکیده فارسی باید دارای ساختار استاندارد و حداکثر ۳۵۰ کلمه باشد. چکیده، ترجیحاً در یک بند (پاراگراف)، و به صورت یک ستونی به عرض ۱۸ سانتی‌متر (فاصله متن از بالا، پایین و راست صفحه ۲ سانتی‌متر، چپ ۱ سانتی‌متر) عرضه می‌شود. حداکثر ۸ کلیدواژه بعد از چکیده می‌آید. از رجوع به منابع و آوردن شکل در چکیده، خودداری شود.

متن: بدنه مقاله به صورت تک ستونی تهیه می‌شود. فاصله سطرها در همه جا معمولی (single) است. طول صفحه ۲۵ سانتی‌متر است. از آوردن واژه‌های انگلیسی (به جز مواردی چون اسامی، ذکر منبع و گونه‌های فسیل‌ها)، اجتناب شود. واحدهای مورد استفاده، در سیستم متریک است (در صورت استفاده از واحد دیگر، معادل متریک آن ذکر شود).

شکل‌ها و جداول: کلیه شکل‌ها، نمودارها و عکس‌ها با عنوان شکل، عرضه می‌شوند. این قسمت‌ها باید اصل و دارای کیفیت بالا باشند. ذکر مأخذ مواردی که از منابع دیگر گرفته شده، الزامی است. نحوه تدوین جدول‌ها راست به چپ و متن آنها به فارسی، به صورت word است. از آنجا که مطالب مجله در ستون‌های ۸/۵ سانتی‌متری (دو ستونه) و ۱۸ سانتی‌متری (تک ستونه) آراسته می‌شوند، لازم است شکل‌ها و جدول‌ها حداکثر با عرض ۱۸ (شکل‌های بزرگ‌تر) یا ۸/۵ (شکل‌های کوچک‌تر) ارائه شوند. ارسال اصل شکل‌ها و نمودارها به لحاظ کیفیت چاپ در محیط فتوشاپ با resolution ۶۰۰ از اهمیت خاصی برخوردار است. به دلیل محدودیت چاپ صفحات رنگی در نشریه، شکل‌ها هم به صورت رنگی و هم سیاه و سفید (قسمت‌های مختلف با هاشور و ... و سایه روشن‌های مختلف از هم تفکیک شوند) تا در صورت استفاده از عکس‌های سیاه و سفید، مشکلی در تشخیص بخش‌های مختلف شکل به وجود نیاید.

مراجع: رجوع به منابع در متن مقاله به صورت نام خانوادگی نویسنده و تاریخ نشر در داخل پرانتز نشان داده می‌شود. فهرست مراجع به ترتیب حروف الفبا و به زبان اصلی در پایان مقاله، می‌آید. از آوردن منابع در انتهای مقاله بدون اشاره در متن و بالعکس جدا خودداری گردد (برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه نگارش انواع مراجع، به منابع راهنما، که در پایان همین صفحه آمده، مراجعه بفرمایید*).

– کتاب‌ها و گزارش‌ها: پدیدآورنده‌ها (نام خانوادگی و حرف اول نام)، تاریخ نشر، عنوان کتاب، ناشر، محل نشر، تعداد صفحات.

– مقاله‌ها: پدیدآورنده‌ها (نام خانوادگی و حرف اول نام)، تاریخ نشر، عنوان مقاله، نام نشریه، دوره یا جلد، شماره (سال)، شماره صفحات.

شماره ترتیب روابط داخل پرانتز نوشته می‌شود. از آوردن پاورقی خودداری شود، واژه‌های معادل (برای یک بار در متن) و موارد توضیحی کنار واژه مورد نظر در پرانتز آورده می‌شوند.

معرفی انگلیسی: در یک برگه جداگانه در انتهای مقاله؛ عنوان مقاله، نام پدیدآورنده‌ها، وابستگی سازمانی و پست الکترونیکی، به همراه چکیده و کلید واژه‌های انگلیسی می‌آید. چکیده و کلید واژه‌های انگلیسی برگردان کامل محتوی چکیده و کلید واژه‌های فارسی است.

قلم‌های نگارش

موقعیت استفاده	اندازه	نوع قلم
عنوان مقاله	۱۶	B-Titr ، سیاه
نام پدیدآورندگان	۱۰	B-Titr ، سیاه
وابستگی سازمانی پدیدآورندگان	۱۰	B-Lotus ، نازک
متن چکیده و کلید واژه‌ها	۱۱	B-Zar ، نازک
عنوان‌های اصلی	۱۰	B-Titr ، سیاه
عنوان‌های فرعی	۹	B-Titr ، سیاه
زیرنویس شکل‌ها و جدول‌ها	۱۱	B-Zar ، نازک
متن مقاله و کتابنگاری	۱۲	B-Zar ، نازک
واژه‌ها و منابع انگلیسی داخل متن مقاله	۸	Times new roman ، نازک
چکیده و منابع انگلیسی انتهای مقاله	۱۰	Times new roman ، نازک

ارسال: متن مقاله بر روی کاغذ A4، به صورت یک‌درو، مطابق رویه صفحه‌آرایی نشریه، سه نسخه چاپ شده؛ دو نسخه رنگی بدون نام و مشخصات نویسنده گان و یک نسخه با نام و مشخصات کامل و محل کار نویسندگان مقاله همراه با آدرس کامل پستی، تلفن (همراه و ثابت) و نشانی پست الکترونیکی نویسنده مسئول؛ به همراه CD مقاله یا به صورت پست الکترونیکی به دو صورت Word و PDF، به دفتر نشریه ارسال می‌شود (مطالب ارسالی بازگشت داده نخواهد شد). همراه با مقاله، نامه تأییدیه از تمامی نویسندگان مقاله مبنی بر این که مقاله را ملاحظه و تأیید می‌نمایند همراه با امضاء، ایمیل و تلفن آنها فرستاده شود. در نامه‌ای جداگانه چند خط راجع به نوآوری مقاله و لزوم چاپ آن توضیح داده شود. افزون بر مدارک یاد شده، ارسال اصل فیش واریزی به مبلغ ۷۵۰،۰۰۰ ریال نیز ضروری می‌باشد. برای غنی‌تر شدن بانک اطلاعات داوران، در نامه همراه مقاله، نام و مشخصات حداقل ۳ نفر که در زمینه مقاله تخصص دارند آورده شود. در صورت نیاز به اصلاح مقاله، مقاله اصلاح شده همراه با CD و نامه مبنی بر پاسخ به نظرات داوران محترم، در دو نسخه (یک نسخه با نام و مشخصات نویسندگان و یک نسخه بدون نام و مشخصات نویسندگان) ارسال گردد. ذکر کد پیگیری مقاله بر روی مقالات اصلاح شده ضروری است.

آدرس: دفتر فصلنامه علوم زمین، تهران، میدان آزادی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تلفن ۶۴۵۹۲۲۹۹-۰۲۱

ن، چند منبع راهنما جهت نگارش مقالات پژوهشی و همچنین اصول نگارش به زبان فارسی، از طریق وب‌گاه فصلنامه علوم زمین